Molekulargenetische Untersuchungen der paläarktischen Arten des Genus *Callophrys* Billberg, 1820 mit Hilfe von mtDNA-COI-Barcodes und taxonomische Überlegungen (Lepidoptera: Lycaenidae)

Wolfgang ten Hagen und Michael A. Miller

Dr. Wolfgang ten Hagen, Frühlingsstraße 1, D-63853 Mömlingen, Deutschland; w.tenhagen@apollo-frankfurt.de
Michael A. Miller, Zoologische Staatssammlung München, Münchhausenstraße 21, D-81247 München, Deutschland; miller@zsm.mwn.de

Zusammenfassung: Ein Genabschnitt von 400 Basenpaaren (bp) des Cytochrom-c-Oxidase-Gens (Untereinheit I, COI) des mitochondrialen Genoms (mtDNA) der paläarktischen Taxa des Genus *Callophrys* Billberg, 1820 wurde untersucht, um die genetische Divergenz und die möglichen phylogenetischen Beziehungen der Taxa zu erhellen. Die erhaltenen Daten wurden statistisch bearbeitet, ausgewertet, und die Ergebnisse werden in Beziehung zu habituellen, genitalmorphologischen, biologischen und zoogeographischen Erkenntnissen diskutiert und bewertet. Obwohl die angewandte Methode bisher nicht alle taxonomischen Probleme lösen konnte, schlagen wir im Ergebnis einige taxonomische Änderungen vor: weder das paläarktischen Genus *Callophrys* s. str. noch *Ahlbergia* Bryk, 1946 sind Monophyla. Wir präferieren, den ältesten verfügbaren Namen *Callophrys* für beide (und auch verwandte nearktische) Genera zu verwenden. Auf Artebene ergeben sich die folgenden neuen taxonomischen Kombinationen: *C. rubi chalybeitincta* Sovinsky, 1905 (= ssp. *nigra* Stradomsky, 2005 **syn. n.;** = ssp. *eitschbergeri* Dantchenko, 2000), *Callophrys herculeana* Pfeiffer, 1927 **stat. n.,** *C. paulae jomuda* Nekrutenko & Tshikolovets, 1997 (= *hatuma* Zhdanko, „1996“ [recte post-1997: 1999?]) Zudem lassen sich einzelne Taxa keiner bekannten Art zuordnen und sollen später separat beschrieben werden.

Molecular investigation of palaeartic species of the genus *Callophrys* Billberg, 1820 using mtDNA COI barcodes, and taxonomical considerations (Lepidoptera: Lycaenidae)

Abstract: In order to get new information on diversity, phylogeny and taxonomy of palaearctic taxa of the genus *Callophrys* Billberg, 1820 a sequence of the cytochrome c oxidase subunit I (COI) gene (400 bp) of the mitochondrial genome (mtDNA) is investigated. The sequence-data have been statistically processed, the results are discussed and evaluated considering phenology, genitalia morphology, ecological, and zoogeographical findings. Although the applied method did not solve all taxonomical problems, we suggest some changes in taxonomy: neither the palaearctic genus *Callophrys* s. str., nor *Ahlbergia* Bryk, 1946 are monophyletic. We prefer to use the oldest available generic name *Callophrys* for both as well as for related nearctic genera. On species level the following taxonomical combinations are new or confirmed: *C. rubi chalybeitincta* Sovinsky, 1905 (= ssp. *nigra* Stradomsky, 2005 **syn. n.;** = ssp. *eitschbergeri* Dantchenko, 2000), *Callophrys herculeana* Pfeiffer, 1927 **stat. n.,** *C. paulae jomuda* Nekrutenko & Tshikolovets, 1997 (= *hatuma* Zhdanko, “1996” [recte post-1997: 1999?]). Some further taxa could not be assigned to any known species and will be described later separately.

Einleitung

Das Genus *Callophrys* Billberg, 1820 wird derzeit in der Familie Lycaenidae Leach, 1815, Unterfamilie Theclinae Swainson, 1831, im Tribus Eumaeini Doubleday, 1847 geführt.

Die taxonomischen Verhältnisse der Arten innerhalb des Genus *Callophrys* sind weitgehend unklar. Trotz einer Vielzahl beschriebener Taxa ist deren Status vielfach umstritten, und die Zahl der als valide betrachteten Arten und Unterarten schwankt je nach Autor (Gorbunov 2001, Gorbunov & Kosterin 2003, Hesselbarth et al. 1995, Nazari 2003, Tuzov et al. 2000, Tshikolovets 1997, 1998, 2000, 2003a, 2003b, 2005). In der zitierten Literatur vertreten Gorbunov und Tshikolovets eine weit restriktivere taxonomische Haltung als Zhdanko (*in* Tuzov et al. 2000). Auch in der Nearktis wird die Taxonomie der dort vorkommenden Arten sehr unterschiedlich beurteilt (Garth 1986, Pyle 1995, Scott 1986). Alle *Callophrys* im hier zitierten Sinne haben eine einfarbig rotbraune, braune oder schwarze Flügeloberseite und eine zeichnungsarme grüne Flügelunterseite. Die Genitalorgane der ♂♂ unterscheiden sich nur wenig zwischen den Arten, während die der ♀♀ zum Teil signifikante Unterschiede zeigen (Gorbunov 2001, Nekrutenko & Tshikolovets 1997, ten Hagen 2006, 2008, 2009, Zhdanko „1996“ [recte post-1997: 1999?], 1998).

In der paläarktischen Region wird manchmal das Genus *Ahlbergia* Bryk, 1946 mit den zirka 10–30 ausschließlich ostpaläarktisch verbreiteten Arten als Subgenus zu *Callophrys* gestellt (Gorbunov 2001, Gorbunov & Kosterin 2003). Eine andere Position bezieht Johnson (1992), der *Ahlbergia* noch weiter unterteilt in die Genera *Ahlbergia* s. str., *Novosatsuma* Johnson, 1992 und *Cissatsuma* Johnson, 1992. D'Abrera (1993) verwendet statt *Ahlbergia* den Gattungsnamen *Ginzia* Okano, „1941“[?], weil er offenbar *Ahlbergia,* ohne einen Grund anzugeben, für invalide hält, während Johnson (1992) und andere Autoren die Arbeit von Okano für später als die von Bryk erschienen halten (nicht selbst nachgeprüft). Die meisten Vertreter des Genus *Ahlbergia* sensu lato haben eine mehr oder weniger blaue Flügeloberseite, eine braune Flügelunterseite mit Linienzeichnung und einen gewellten Außenrand der Flügel. Die Genitalien sind dem der *Callophrys* s. str. ähnlich, aber unterscheidbar, auch im männlichen Genital.

Auf dem nordamerikanischen Kontinent werden oft die Gattungen *Incisalia* Scudder, 1872, *Mitoura* Scudder, 1872 und *Callophrys* zu *Callophrys* vereinigt (unter anderen: Scott 1986). Auch hier geht Johnson wieder den entgegengesetzten Weg und beschreibt neben *Inci-*

salia die Gattung *Decidophagus* Johnson, 1992 für einige der von allen anderen Autoren als nearktische Vertreter des Genus *Callophrys* bezeichneten Arten. Außerdem trennt er 2 mittelamerikanische Arten als *Cisincisalia* Johnson, 1992 von *Incisalia* ab. Teilweise wird in der Literatur (zum Beispiel D'Abrera 1993) der Gattungsname *Mitoura* Scudder, 1872 für alle neuweltlichen *Callophrys* verwendet. Auch in der Nearktis haben einige Vertreter des Genus *Callophrys* s. str. eine braune Flügeloberseite und zeichnungsarme grüne Flügelunterseite, während die *Mitoura*-Arten meistens eine braune oder rotbraune Flügeloberseite mit „*Thecla*"-Schwänzchen am Hinterflügel haben. Die *Incisalia*-Arten zeichnen sich durch eine braune Flügelunterseite mit Linienzeichnung und Hinterflügellobus ähnlich manchen altweltlichen *Ahlbergia* aus. Die Trennung zwischen den „Sub"-Genera ist aber in der Nearktis bei weitem schwieriger als in der Paläarktis. Es gibt auch Vertreter von *Incisalia* mit grüner Flügelunterseite.

In der vorliegenden Arbeit werden ausschließlich die paläarktischen Vertreter des Genus *Callophrys* im engeren Sinne behandelt, nur einzelne Vertreter der verwandten Taxa werden als Außengruppe mit einbezogen.

Zur Artdiagnose werden bei Lepidopteren in der Regel primär habituelle Merkmale benutzt. Dies stößt bei den Arten des Genus *Callophrys* schnell an Grenzen.

Wie bereits oben erwähnt, zeigen alle hier betrachteten Arten eine einfarbig dunkle Flügeloberseite: rotbraun, braun, schwarz oder schwarz mit leicht metallischem Glanz. Außer dem Androkonienfleck der ♂♂ in der Vorderflügelzelle sind keinerlei für die Artdiagnose dienliche Zeichnungselemente oder Farbabstufungen zu erkennen. Die Grundfärbung der Flügeloberseite unterliegt innerhalb einer Population nur geringen Schwankungen. Sie kann geographisch in verschiedenen Subspezies und Populationen deutlich unterschiedlich sein. *Callophrys rubi* (Linnaeus, 1758) ist in Nordafrika und der iberischen Halbinsel rotbraun (ssp. *fervida* Staudinger, 1901) und sieht damit der im gleichen Areal endemischen *Callophrys avis* Chapman, 1909 (Fernandez-Rubio 1991, Higgins & Riley 1970, Manley & Allcard 1970, Tarrier & Delacre 2008, Tennent 1996) sehr ähnlich. Im gesamten restlichen, riesigen Verbreitungsareal bis zum Pazifik im Osten ist die Flügeloberseite bei *C. rubi* braun bis dunkelbraun und variiert im wesentlichen entsprechend klimatischer Kriterien. Auch bei *C. chalybeitincta* Sovinsky, 1905 ist die fast schwarze Grundfarbe der Flügeloberseite Schwankungen unterworfen: bei der ssp. *nigra* Stradomsky, 2005 vom unteren Don, Rußland, ist sie tiefschwarz ohne metallischen Glanz; bei der ssp. *schamyl* Sheldon, 1914 vom NW-Kaukasus ist sie grauschwarz mit intensivem blaumetallischem Glanz. Bei der nominotypischen Form ist der blaue oder dunkelgrüne Metallglanz im wesentlichen auf den basalen Teil der Flügel beschränkt.

Die Größe und Form des Androkonienfleckes ist in Grenzen bei der Artdiagnose hilfreich (Hesselbarth et al. 1995, Tuzov et al. 2000, Zhdanko „1996" [recte post-1997: 1999?], 1998), er ist zum Beispiel bei *Callophrys suaveola* (Staudinger, 1881) und den nächsten Verwandten relativ groß. Die Färbung des Androkonienflecks ist bei manchen Arten (zum Beispiel *C. suaveola* und *C. danchenkoi* Zhdanko, 1998) oft deutlich heller beigebraun als die Grundfarbe, bei anderen (*Callophrys paulae* Pfeiffer, 1932) meistens dunkler und nicht selten auch in der gleichen Farbe wie die Grundfarbe. Dies Merkmal ist aber nicht konstant, und sogar innerhalb einer Population eines Taxons konnte der Autor regelmäßig ♂♂ mit hell kontrastierenden Flecken neben Individuen mit dunklen Flecken beobachten. Die Färbung des Androkonienflecks ist somit allenfalls statistisch relevant, im Einzelfall jedoch nicht als diagnostisches Kriterium nutzbar.

Die Grundfarbe der Flügelunterseite aller hier behandelten *Callophrys* ist grün. Der grüne Farbton unterliegt dabei einerseits einer geographisch-subspezifischen Differenzierung: zum Beispiel ist bei *C. rubi sibirica* Heyne, [1895] die grüne Grundfarbe deutlich dunkler als bei europäischen *C.-rubi*-Populationen; andererseits gibt es bei einigen Arten wie zum Beispiel *C. paulae* eine erhebliche individuelle Variation innerhalb einer Population. Das Merkmal ist nicht zur Artdiagnose, im Einzelfall zur Diagnose der Unterart jedoch brauchbar.

Bei allen hier behandelten *Callophrys*-Arten zeigt die Unterseite eine mehr oder weniger ausgeprägte submarginale weiße Fleckenreihe. Diese ist bei allen Arten intraspezifisch sehr variabel von vollständig und breit bis nahezu völlig fehlend (Hesselbarth et al. 1995, ten Hagen 2009). Zur Diagnose auf Artniveau ist die Submarginallinie oft nicht hilfreich; zur Unterartdiagnose innerhalb einer bekannten Art kann sie jedoch nützlich sein, auch wenn in jeder Unterart immer Einzeltiere mit stark abweichender Submarginallinie vorkommen. Die Ausprägung der Submarginallinie nimmt zum Beispiel bei *C. paulae* in Nordiran von West nach Ost statistisch signifikant zu (ten Hagen 2009). Als Ausnahme vom oben Gesagten ist die rechtwinklig gebogene weiße Submarginallinie ein wichtiges Artkriterium von *Callophrys mystaphia* Miller, 1913 (ten Hagen 2006).

Die äußere Form der Flügel ist bei der Determination in vielen Fällen hilfreich. Während *C. rubi* in allen Subspezies einen ausgeprägten Lobus und zusätzlich einige deutlich kleinere am Hinterflügel zeigt, hat *C. paulae* ebenso einen, aber kleineren Lobus. *C. naderii* ten Hagen, 2008 besitzt 2–3 kleinere, gleichgroße Loben. Bei den Taxa *suaveola, danchenkoi, titanus* Zhdanko, 1998 und *butlerovi* Migranov, 1992 zeigen die Hinterflügel nur eine Zacke; bei *mystaphia* eine gleichmäßige Rundung (ten Hagen 2006).

Für die Artdiagnose von *C. avis,* besonders zur Abgrenzung der syntop vorkommenden *C. rubi fervida,* ist die rotbraune Behaarung der Frons entscheidend. Bei allen anderen Arten ist die Frons grün mit mehr oder weniger weißer Randbehaarung. Bei letzteren ist die indivi-

duelle Variation nach Untersuchungen des Erstautors weit größer als die interspezifische. Versuche von Gorbunov (2001), die Längenverhältnisse der Beinsegmente zur Determination einzusetzen, konnten an eigenem Material nicht verifiziert werden.

Die genitalmorphologische Untersuchung ist bei vielen Lepidopteren sehr hilfreich, stößt bei *Callophrys* aber zum Teil an Grenzen. Das männliche Genital ist bei allen Arten sehr ähnlich. Lediglich bei *C. mystaphia* gibt es geringe Unterschiede (ten Hagen 2006). Weit aussagefähiger ist das weibliche Genitalorgan, besonders die Form des Antrums bursae (Johnson 1992, Stradomsky 2005, ten Hagen, 2006, 2008, 2009, Zhdanko *in* Tuzov et al. 2000, Zhdanko „1996" [recte post-1997: 1999?], 1998). Die zweidimensionale Ansicht dieses dreidimensional-trichterförmigen Gebildes hängt sehr stark vom Blickwinkel und der Einbettung ab. Einfache Strichzeichnungen stark gepreßter Objekte (zum Beispiel Zhdanko „1996" [recte post-1997: 1999?], 1998) sind für die Beurteilung und Determination nur beschränkt brauchbar.

Die Kenntnis ökologischer Merkmale der vorliegenden Falter erleichtert die Determination ganz entscheidend, und in vielen Fällen ist die Determination im Biotop wesentlich leichter als durch eingehendes Studium aller oben angesprochenen morphologischen Kriterien (eigene Beobachtung). Die meisten Arten sind artspezifisch mit Pflanzenfamilien assoziiert, auf deren Blätter sich die Falter die weitaus meiste Zeit des Tages aufhalten. Dies bedeutet nicht, daß diese Pflanzen in jedem Fall auch als Futterpflanzen der Raupen nachgewiesen wurden. Da die Larven des Genus — soweit bekannt — bevorzugt an Blüten mit vergleichsweise geringer Konzentration pflanzenspezifischer Gift- und Abwehrstoffe fressen (Fiedler 1990, ten Hagen 2008, Toropov & Zhdanko 2009, Weidemann 1988), bedeutet dies auch nicht, daß die Raupen ausschließlich auf einer Pflanzenfamilie leben könnten. Es können 5 Gruppen gebildet werden:

1. ***Arbutus*-Gruppe:** Hierzu zählt lediglich *C. avis*. Diese ist fast ausschließlich an den Erdbeerbaum (*Arbutus unedo* L., Ericaceae) gebunden. Als weitere lokale Raupenfutterpflanzen werden *Salvia verbenacea* L. (Lamiaceae), *Viburnum tinum* L. (Caprifoliaceae) und *Coriana myrtifolia* L. (Coriariaceae) angegeben (unter anderen: Manley & Allcard 1970, Fernandez-Rubio 1991, Tennent 1996, Tolman & Lewington 1997, Maravalhas 2003, Tarrier & Delacre 2008).
2. **Rosaceen-Gruppe:** hierzu werden gerechnet *C. rubi*, *C. herculeana* Pfeiffer, 1927, *C. chalybeitincta*, *C. naderii* und bisher unbeschriebene Taxa aus NE-Iran (in der Tabelle 1 als *Callophrys* sp. 5 und sp. 6). Es wird vermutet, daß auch die wenig bekannte und schlecht definierte *C. armeniaca* Zhdanko, 1998 zu dieser Gruppe gehört. Als Raupenfutterpflanzen sind bei *C. rubi* eine Vielzahl von Pflanzen, oft Fabaceen, Rosaceen, *Helianthemum* (Cistaceae) und *Vaccinium* (Ericaceae) bekannt (unter anderen Henriksen & Kreutzer 1982, Ebert 1991, Gorbunov & Kosterin 2003, Eliasson et al. 2005, Tarrier & Delacre 2008). Nach eigenen Beobachtungen in SE-Europa und der Türkei halten sich die Falter beiderlei Geschlechts überwiegend auf Rosensträuchern (Rosaceae) auf, auch wenn die Nektaraufnahme an einer Vielzahl von Blüten anderer Familien festgestellt wurde. Die enge Bindung an Rosenbüsche ist bei den anderen Taxa dieser Gruppe sehr viel ausgeprägter. *C. chalybeitincta* wurde vom Erstautor in Transkaukasien und Iran nahezu ausschließlich auf Rosen beobachtet. Dennoch gibt es Populationen, die an *Colutea* (Fabaceae) (in Daghestan, persönliche Mitteilung Tikhonov, Pyatigorsk) oder Fabaceen (Hochlagen des NW-Kaukasus oberhalb 2500 m, persönliche Mitteilung Stradomsky, Rostov am Don) leben.
3. ***Onobrychis-cornuta*-Gruppe:** Diese umfaßt *C. paulae*, *C. farsica* ten Hagen, 2009, eine nah verwandte Art aus dem südlichen Zagrosgebirge in Iran und die als Art beschriebene *C. jomuda* Nekrutenko & Tshikolovets, 1997, die inzwischen (ten Hagen 2009) als Unterart von *C. paulae* gilt. *Onobrychis cornuta* (Fabaceae) ist eine Pflanze der alpinen Dornpolsterzone im Nahen und Mittleren Osten. Die halbkugelförmigen Polster bilden zum Teil große Bestände, die je nach Höhenlage Ende April bis Juli intensiv rosa blühen. Von Zentralanatolien bis NO- und S-Iran findet man regelmäßig, nicht selten individuenstarke Populationen von *Callophrys,* die sich bei Sonne fast ausschließlich auf den Polstern aufhalten (Hesselbarth et al. 1997, Wagener & van Oorschot 1998, Tuzov et al. 2000, ten Hagen 2009). Zur Übernachtung und bei der Kopula werden andere, großblättrige Pflanzen zum Sitzen bevorzugt (ten Hagen 2009). Wiederholt wurde auch die Eiablage an *O. cornuta* beobachtet.
4. **Umbelliferen-Gruppe:** Diese umfaßt die Taxa *C. suaveola, C. danchenkoi, C. butlerovi, C. titanus* (Hesselbarth et al. 1997, Zhdanko 1998, Tuzov et al. 2000, Gorbunov 2001, Gorbunov & Kosterin 2003) und möglicherweise ein unbeschriebenes Taxon aus Südiran, Provinz Kerman. Für *C. butlerovi* gibt Gorbunov (*in* Gorbunov & Kosterin 2003) *Ferula tartarica* (Umbelliferae) als Raupenfutterpfanze an; die Imagines halten sich jedoch im wesentlichen auf *Spiraea-* (Rosaceae) und *Caragana*-Büschen (Fabaceae) auf. Falter von *C. danchenkoi* werden nahezu ausschließlich auf den Blättern großblättriger Umbelliferen beobachtet. Der Artstatus aller Taxa dieser Gruppe ist umstritten. Sie werden vielfach zusammen mit *titanus* zur einzigen Art *C. suaveola* zusammengefaßt (Hesselbarth et al. 1997, Gorbunov & Kosterin 2003, Tshikolovets 2000, 2003a, 2003b, 2005).
5. ***Rheum*-Gruppe** (Polygonaceae): Für *C. titanus* gibt Zhdanko (1998; auch Toropov & Zdhanko 2009) *Rheum maximowiczii* als Eiablagepflanze an. Im Gegensatz dazu liegt uns auch eine Beobachtung von Churkin, Moskau (pers. Information in litt.), vor, der *C. titanus* wie die engst verwandte *C. suaveola* mit Umbelliferen in Verbindung bringt. Für Falter von *C.*

mystaphia wurde eine sehr enge Bindung an *Rheum persicum* festgestellt (ten Hagen 2006), ohne jedoch bisher eine Eiablage beobachten zu können. Kürzlich konnte Kemal (2009) die Art nach fast 100 Jahren in der Türkei, Provinz Van, wiederauffinden und sowohl Eier als auch Larven an *Rheum ribes* Linnaeus nachweisen.

Der Vergleich morphologischer Merkmale der einzelnen Arten der gebildeten Gruppen läßt erkennen, daß es sich keineswegs in allen Fällen um phylogenetisch nächstverwandte Taxa handelt. Die Kenntnis der assoziierten Pflanzenfamilie erleichtert aber bei nur diskreten morphologischen Unterschieden zwischen den Taxa ganz wesentlich die Determination.

Alle hier behandelten *Callophrys* sind — von *C.-rubi*-Einzeltieren im Sommer abgesehen — univoltin und fliegen im Frühjahr. Die Biologie fast aller Arten außer *C. rubi* und *C. avis* ist nur rudimentär oder gar nicht bekannt. Für *C. rubi* ist beobachtet worden, daß die Raupenfärbung sehr variabel ist und sich teilweise nach dem gefressenen Substrat, zum Beispiel der Blütenfarbe richtet (SBN 1987, Weidemann 1988, eigener Zuchtversuch an semisynthetischem Kunstfutter). Die Untersuchung larvalmorphologischer Merkmale läßt keine entscheidenden taxonomischen Differenzierungen erwarten.

Da alle bisher angesprochenen Merkmale keine befriedigende phylogenetische und taxonomische Einordnung der Taxa zulassen, wurde mit der vorliegenden Studie versucht, ein weiteres Kriterium einzubeziehen: das COI-Gen der mtDNA.

Die mitochondriale DNA ist generell der rein maternalen Vererbung unterworfen und wird also als eigenständiges, ringförmiges Molekül von der Mutter auf die Nachkommen vererbt. Auf dem Mitochondriengenom sind 15 Gene codiert, eines davon die Cytochrom-c-Oxidase mit mehreren Untereinheiten; die Untereinheit I (= COI) wird in der Untersuchung benutzt. Dieses Gen codiert für ein wichtiges Protein der Atmungskette und ist daher der Selektion unterworfen: Mutationen dieses Gens, die eine Veränderung der Aminosäureabfolge bewirken, können als Letalfaktor wirken. Dieses Gen kommt in allen Tiergruppen vor und ist seit einigen Jahren das Zielgen einer Gruppe von Forschern, die es sich zur Aufgabe gemacht haben, mit der Entschlüsselung dieser Gensequenz möglichst aller Tierarten der Erde ein universelles Bestimmungswerkzeug, einen so genannten „DNA-Barcode" zu schaffen (Hebert et al. 2003). Über dieses Gen ist mittlerweile viel bekannt, und so weiß man, daß man mit der COI-Sequenz auf Populations- bis Gattungsniveau auch innerhalb gewisser Grenzen phylogenetische Untersuchungen anstellen kann. Es ist aber auch bekannt, daß die Mutationsraten dieses Gens bei verschiedenen Tierarten unterschiedlich hoch sind. Bei Arten der Gattung *Papilio* Linnaeus, 1758 beispielsweise, aber auch bei Weißlingen der Tribus Anthocharidini hat sich gezeigt, daß man mit Sequenzdivergenzraten um 2 % recht zuverlässig Arten der Gattungen voneinander abgrenzen kann (Sperling 2003, Back et al. 2006a, b, 2008). Im vorliegenden Fall wird untersucht, ob die Verwendung des COI-Barcodes helfen kann, Licht in die komplizierte taxonomische Situation der paläarktischen *Callophrys* zu bringen.

Material

Es wurden alle Arten und die meisten Unterarten der paläarktischen Vertreter des Genus *Callophrys* in die Untersuchung einbezogen. Von insgesamt 77 Faltern (davon 70 *Callophrys* s. str. und 7 potentiell verwandte Arten als Außengruppe) befinden sich bis auf ein Tier (coll. Stradomsky, Rostov am Don) alle untersuchten Falter in der Privatsammlung des Erstautors (Tabelle 1). Die Benennung in der Tabelle 1 als *Callophrys* sp. 2–8 bedeutet, daß es keinen bisher publizierten Namen für das Taxon gibt (*Callophrys* sp. 4, sp. 5, sp. 6), oder (meistens), daß es nicht gelungen ist, das Einzeltier einer bekannten Art zuzuordnen. Die Vielzahl der undeterminierten Falter kommt daher zustande, daß für die DNA-Analyse gezielt jene Tiere ausgewählt wurden, deren Determination nach allen anderen Kriterien zweifelhaft war. Die nicht determinierbaren Tiere sind in der Untersuchung deutlich überrepräsentiert, während von der weit überwiegenden Mehrzahl der vom Erstautor zuverlässig bestimmbaren *Callophrys* nur einzelne Falter ausgewählt wurden. Das Material wurde teilweise vom Erstautor gezielt selbst gesammelt oder mit Hilfe einer großen Zahl von Kollegen zusammengetragen. Es war entweder getrocknet in Tüten oder bereits präpariert.

Von jedem Tier wurden 3 Beine entnommen, mit Etiketten versehen (WtH) und in Eppendorfgefäßen an den Zweitautor übermittelt. In den meisten Fällen war letzterem die vermutete Artzugehörigkeit des Materials nicht bekannt und wurde „blind" untersucht.

Zusätzlich wurden einzelne, bereits in der GenBank publizierte Daten von DNA-Sequenzen anderer Theclinae zum Vergleich herangezogen.

Methode

DNA-Extraktion, PCR und Sequenzierung

Die Extraktion der DNA wurde wie in Back et al. (2008) angegeben durchgeführt. Die Extraktion der DNA, die Amplifikation und die Sequenzierung des Genfragments sowie die phylogenetischen Berechnungen und Interpretationen wurden von der Firma kmbs (www.kmbioservices.de) ausgeführt. Für die DNA-Extraktion wurden jeweils drei Beine der jeweiligen Probe verwendet. Die Beine wurden mit sterilen Glaspistillen in einem 1,5-ml-Eppendorf-Gefäß zerrieben und mit dem DNEasy-Blood-&-Tissue-Kit der Fa. Qiagen (Hilden) nach deren Anweisungen behandelt. Die Vervielfältigung (PCR) des mitochondrialen Genfragments (COI) wurde mit den eigens für diese Untersuchung designten Primern kmbs-mtD6mod (= 5'-tacctattataattggagat

ttgg-3') und kmbs-mtD9Lyc (= 5'-caaaaaatgaagtatttaaat ttcg-3') in einem BioRad-T-professional-Thermocycler mit folgenden Parametern durchgeführt: Anfangsdenaturierung 94°C für 5 min, Annealing bei 48°C für 1 min, Kettenverlängerungsreaktion bei 72°C für 1:30 min, Denaturierung bei 94°C für 1 min. Nach 50 solcher Zyklen erfolgte die letzte Kettenverlängerungsreaktion bei 72°C für 5 min und Abkühlung auf 10°C. Die dafür verwendeten Reagenzien waren entweder das MBI-Taq-System (rekombinant) mit $(NH_4)_2SO_4$-Puffer (MBI Fermentas, Leon-Rot) oder das Biotaq-PCR-Kit mit $(NH_4)_2SO_4$-Puffer (Bioline, Luckenwalde) und Primer von metabion (Martinsried), mit 25 µl Reaktionsvolumen, wobei 1 µl DNA eingesetzt wurde. Die Amplifikate wurden mit dem MinElute-PCR-Aufreinigungskit (Qiagen) gereinigt und nach Konzentrationsmessung und -einstellung direkt sequenziert. Dazu wurde in einer zyklischen Sequenzierreaktion der BigDye-Sequencing-Dye-Terminator mix-V 1.1 (Applied Biosystems) verwendet. Nach der Aufreinigung der Fragmente mit Sephadex (Fluka) wurde das Reaktionsgemisch auf einem ABI377XL Sequenzierautomat elektrophoretisch aufgetrennt. Aus beiden sequenzierten Einzelsträngen wurde jeweils eine korrigierte Konsensussequenz erstellt.

Auswertung der Sequenzdaten

Paarweise genetische Distanzen zwischen den einzelnen Taxa wurden mit der Software Paup (Phylogenetic analysis using parsimony, Version 4.0β 10; Swofford 2003) berechnet. Aus den genetischen Distanzen der Taxa wurde ein Neigbour-Joining-Baum mit der Software Paup konstruiert, der die genetischen Distanzen in Form eines Baumdiagramms abbildet (Grafik 1). Zur Ermittlung der phylogenetischen Beziehungen zwischen den einzelnen Taxa und den Haplotypengruppen wurde eine Median-Joining-Networkanalyse mit dem Programm Network V.4.5.10 (Bandelt et al. 1999) gerechnet, die mögliche alternative Evolutionspfade von DNA-Sequenzen einer rekombinationsfreien Population aufzeigt und die graphische Darstellung des Distanzcladogramms noch verfeinert.

Ergebnisse

Der alignierte Datensatz bestand aus 79 Sequenzen mit jeweils 400 Basenpaaren (bp) Länge und zeigte den für Insekten typischen Überhang der Basen Adenin und Thymin (34 % und 39 %) gegenüber Cytosin (15 %) und Guanidin (13 %). Von diesen 400 bp waren 329 (= 82 %) konstant und 71 (18 %) variabel, davon 44 (= 62 %) Parsimonie-informativ. Mit allen Proben, also auch den Außengruppenvertretern, wurden 22 Haplotypen gefunden, wobei ein Haplotyp aus bis zu 25 Individuen bestehen konnte.

Die erhaltenen Ergebnisse lassen innerhalb des paläarktischen Zweiges des Genus *Callophrys* nur relativ geringe genetische Distanzen erkennen und werden im Baumdiagramm (Grafik 1) dargestellt. Die maximale gefundene Distanz beträgt p = 0,0250 beziehungsweise p = 0,0275 zwischen *C. avis* und den 2 Arten aus Südiran, Kerman: *C. naderii* und die unbeschriebene *Callophrys* sp. 4. Die gefundene genetische Distanz innerhalb des paläarktischen Teils des Zweiges der *Callophrys* ist ähnlich groß (beziehungsweise gering) wie zwischen den paläarktischen und nearktischen Vertretern sowie zwischen den 2 untersuchten nearktischen Vertretern: einerseits der einem altweltlichen *Callophrys* s. str. habituell sehr ähnliche *C. (Mitoura) affinis* W. H. Edwards, 1862 und andererseits der einer altweltlichen *Ahlbergia* ähnliche *C. (Incisalia) henrici* Grote & Robinson, 1867 (Distanz: p = 0,0250). Als nächstverwandte Gattung mit paläarktischem Vorkommen wurde *Tomares* Rambur, 1840 ermittelt (Distanz: p = 0,0725).

Ein bemerkenswertes Resultat ist, daß die als vermutete Außengruppe untersuchten *Ahlbergia frivaldszkyi* (Lederer, 1855) und auch *Ahlbergia* (*Cissatsuma) tuba* (Johnson, 1992) als verschiedene Zweige innerhalb des Genus *Callophrys* mit nur mäßiger Distanz zu den nächstverwandten „grünen" *Callophrys* erscheinen. Da die Vielzahl der von Johnson (1992) beschriebenen und in schwarzweiß abgebildeten *Ahlbergia*-Arten nur schwer zu bestimmen sind, wurde der letztgenannte Falter genitaluntersucht und mit großer Wahrscheinlichkeit als „Species *tuba*" des in der gleichen Arbeit neu beschriebenen Genus *Cissatsuma* bestimmt. Auch die Networkanalyse (Grafik 2) macht die enge Verzahnung der beiden *Ahlbergia* mit den *Callophrys* s. str. deutlich.

Innerhalb des paläarktischen *Callophrys*-Baumes für das mitochondrale COI-Gen (Grafik 1) lassen sich 7 zum Teil heterogene Artengruppen erkennen.

1. *avis*-Gruppe. Diese umfaßt lediglich die Art *avis*. Die Subgruppe ist mit Abstand am besten definiert: Distanz: p = 0,0150 bis p = 0,0275) zu den anderen Subgruppen. Unterschiede zwischen den untersuchten Tieren aus Frankreich (ssp. *avis*) und Marokko (ssp. *barraguei*) ergaben sich für das untersuchte COI-Segment nicht. Zur gleichen basalen Gruppe gehört auch *Ahlbergia (Cissatsuma) tuba.*

6. *rubi*-Gruppe. Diese enthält neben *C. rubi* von Marokko im Westen bis dem Ussuri im Osten auch alle beschriebenen Unterarten von *C. chalybeitincta* von der Wolga und dem Don im Norden durch den Kaukasus bis NW-Iran. Bis auf ein einziges untersuchtes Exemplar, morphologisch als *C. chalybeiticta* determiniert (Code-Nr. WtH 009 in Grafiken 1 und 2), wurden keinerlei Unterschiede im COI-Gen gefunden. Zusammen mit diesen bilden *Ahlbergia frivaldszkyi* und *C. mystaphia* die gemeinsame abgeleitete Gruppe.

7. *suaveola*-Gruppe. Neben den Taxa *suaveola, titanus, butlerovi* und *danchenkoi* erscheinen in dieser Gruppe auch die mit *O. cornuta* assozierte *C. farsica* aus Südiran sowie ein weiteres Taxon (in Tabelle 1 als *Callophrys*-sp. 9) aus dem südlichen Zagrosgebirge.

Tabelle 1: In der Tabelle sind die Daten der untersuchten Falter zusammengefaßt. Spalte 1: derzeit in der Literatur mehrheitlich verwendete Nomenklatur. Spalte 2: von den Autoren vorgeschlagene Nomenklatur. Die Benennung als *Callophrys* sp. 2–8 bedeutet nicht, daß es sich in jedem Fall um neue, noch nicht beschriebene Taxa handelt. In den meisten Fällen handelt es sich um Einzeltiere, die aus verschiedenen Gründen bisher keinem bekannten Taxon zugeordnet werden konnten. Spalte 3: GenBank-Zugangsnummer. Spalte 4: Code-Nummer der DNA-Probe. Spalte 5: Funddaten der Falter.

Taxon, aktuelle Nomenklatur	Taxon, vorgeschlagene Nomenklatur	GenBank-Nr.	ID-Code	Funddaten
Callophrys avis barraguei	*Callophrys avis barraguei*	FN601258	kmbs-WtH 001	Marokko • Tetuan • Rif, Djebel Bouhanchem, Zaouia-Sidi Abdeslam • 1000-1200 m • 1.-15. III. 2006 • leg. Tarrier • coll. ten Hagen
Callophrys avis avis	*Callophrys avis avis*	FN601274	kmbs-WtH 018	Frankreich • Hérault • La Boissière, (ab ovo: cult G. Verhulst) • 6. III. 2002 • leg. Runquist • coll. ten Hagen
Ahlbergia (Cissatsuma) tuba tuba?	*Callophrys tuba tuba?*	FN601328	kmbs-WtH 079	China • NW Yunnan • 8 km W Dali • 31. III. 2008 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi fervida	*Callophrys rubi fervida*	FN601302	kmbs-WtH 052	Marokko • Hoher Atlas • NE Oukaimeden • 2200 m • 13. IV. 2001 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi fervida	*Callophrys rubi fervida*	FN601312	kmbs-WtH 062	Spanien • Andalusien • Sierra Nevada • 13. III. 2003 • leg. F. Gil-T • coll. ten Hagen
Callophrys rubi rubi	*Callophrys rubi rubi*	FN601260	kmbs-WtH 003	Griechenland • Epirus • Straße Metsovo-Grevena, • 800-900 m • 27. V. 2006 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi rubi	*Callophrys rubi rubi*	FN601319	kmbs-WtH 070	Türkei • Nigde • Bolkar-Daglari, Madenköy • 1700 m • 15. VI. 1997 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi rubi	*Callophrys rubi rubi*	FN601285	kmbs-WtH 030	Türkei • Artvin • N Yusufeli, S Sarigöl • 650 m • 1. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi rubi	*Callophrys rubi rubi*	FN601290	kmbs-WtH 035	Israel • Hermon • 29. IV. 2006 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi rubi	*Callophrys rubi rubi*	FN601301	kmbs-WtH 051	Russland • SE Moskau • Penza area, Bessonovsky reg., NE vil. Pobeda • 2. V. 2000 • leg. Polumordvinow • coll. Stradomsky
Callophrys rubi borealis	*Callophrys rubi sibirica*	FN601325	kmbs-WtH 076	Kirghisien • N Tien Shan • Trans-Ili-range, Ak-Tuz, Kichi-Kemin • 2200 m • 20. V.- 3. VI. 2008 • leg. Gushko • coll. ten Hagen
Callophrys rubi borealis	*Callophrys rubi sibirica*	FN601326	kmbs-WtH 077	Kirghisien • N Tien Shan • Trans-Ili-range, Ak-Tuz, Kichi-Kemin • 2200 m • 20. V.- 3. VI. 2008 • leg. Gushko • coll. ten Hagen
Callophrys rubi borealis	*Callophrys rubi sibirica*	FN601327	kmbs-WtH 078	Kirghisien • N Tien Shan • Trans-Ili-range, Ak-Tuz, Kichi-Kemin • 2200 m • 20. V.- 3. VI. 2008 • leg. Gushko • coll. ten Hagen
Callophrys rubi borealis	*Callophrys rubi sibirica*	FN601329	kmbs-WtH 080	Russland • Altai • Gornyi Altai, SE Aigulaksky mts., Aktash • 1700-1800 m • 31. V. 2002 • leg. Belik • coll. ten Hagen
Callophrys rubi borealis	*Callophrys rubi sibirica*	FN601330	kmbs-WtH 081	Russland • Altai • Gornyi Altai, SE Aigulaksky mts., Aktash • 1700-1800 m • 31. V. 2002 • leg. Belik • coll. ten Hagen
Callophrys rubi borealis	*Callophrys rubi sibirica*	FN601259	kmbs-WtH 002	Russland • S Sibirien • W Sajans mts., Khakassia, Shaman riv. • 1600 m • 28. V. - 6. VI. 2003 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi borealis	*Callophrys rubi sibirica*	FN601308	kmbs-WtH 058	Russland • Ussuri, • Khaborousk, Sikohota-Alin-mts, Vysokogorniy • 18.-25. V. 2002 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi ssp.	*Callophrys rubi* ssp.	FN601283	kmbs-WtH 028	Iran • Khorasan • Kopet Dagh, 25 km S Darregaz, • 1200-1300 m • 3. V. 2001 • leg. Eckweiler • coll. Eckweiler
Callophrys rubi ssp.	*Callophrys rubi* ssp.	FN601304	kmbs-WtH 054	Iran • Khorasan • Kopet Dagh, N Qucan, N Emamqoli (Schlucht) • 1600-1700 m • 21. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi ssp.	*Callophrys rubi* ssp.	FN601289	kmbs-WtH 034	Iran • Khorasan • Kopet Dagh, N Qucan, N Emamqoli (Schlucht) • 1600-1700 m • 21. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi ssp.	*Callophrys rubi* ssp.	FN601307	kmbs-WtH 057	Turkmenistan • Kopet Dagh • Kara-Kala • 21. V. 1991 • leg. Gorodinsky • coll. ten Hagen
Callophrys chalybeitincta nigra	*Callophrys rubi chalybeitincta*	FN601299	kmbs-WtH 048	Russland • Rostov-am Don • Kumshenskaya • 29. V. 2007 • leg. Stradomsky • coll. ten Hagen
Callophrys chalybeitincta eitschbergeri	*Callophrys rubi chalybeitincta*	FN601264	kmbs-WtH 008	Russland • Astrakhan/Wolga • Bolshie Bolkuny • 30. IV. 2004 • leg. Solodovnikov • coll. ten Hagen
Callophrys chalybeitincta schamyl	*Callophrys rubi schamyl*	FN601300	kmbs-WtH 050	Russland • NW Kaukasus • 1800 m • 18. VII 2002 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys chalybeitincta schamyl	*Callophrys rubi schamyl*	FN601266	kmbs-WtH 010	Russland • Krasnodar • NW Kaukasus, Gelendzhik env. • 100 m • 30. IV. 2004 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys chalybeitincta chalybeitincta	*Callophrys rubi chalybeitincta*	FN601284	kmbs-WtH 029	Georgien • Kakheti • Kaukasus, E Tiblisi, E Sagaredzo, vic. Manavi • 550 m • 3. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys chalybeitincta chalybeitincta	*Callophrys rubi chalybeitincta*	FN601286	kmbs-WtH 031	Iran • Zanjan • E Talish, NE Abbar • 900 m • 8. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys chalybeitincta chalybeitincta	*Callophrys rubi chalybeitincta*	FN601305	kmbs-WtH 055	Iran • Azarbayan-e-Sharqi • Aras-Tal, N Kaleybar, vic. Alajujeh • 400 m • 14. V. 2005 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys chalybeitincta chalybeitincta?	*Callophrys rubi chalybeitincta?*	FN601265	kmbs-WtH 009	Armenien • Syunik • S Goris, vic. Vorotan • 800 m • 13. V. 2005 • leg. et coll. ten Hagen
Ahlbergia frivaldszkyi frivaldszkyi	*Callophrys frivaldszkyi frivaldszkyi*	FN601276	kmbs-WtH 020	Russland • S Sibirien • Altai mts., Kuralsky Mt. Reg. Aktash vil. • 1500 m • 20. VI. 2003 • leg. et coll. ten Hagen
Ahlbergia frivaldszkyi aquilonaria	*Callophrys frivaldszkyi aquilonaria*	FN601295	kmbs-WtH 042	Russland • Ferner Osten • Evreiskaya A.D., Kuldur, • 1000 m • 28. V.-5. VI. 2000 • leg. Aniskovitch • coll. ten Hagen
Callophrys mystaphia mystaphia	*Callophrys mystaphia mystaphia*	FN601275	kmbs-WtH 019	Iran • Boyer-Ahmad-o Kuhgiluye • Kuh-e Dinar, Paß E Sisakht • 2700 m • 20./21. V. 2005 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys titanus titanus	*Callophrys suaveola suaveola*	FN601261	kmbs-WtH 004	Usbekistan • W Tien Shan • Chatkolsky mts., Chimgan • 1800-2400 m • 15. VI. 2003 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys titanus titanus	*Callophrys suaveola suaveola*	FN601310	kmbs-WtH 060	Usbekistan • SE Samarkand • Zervshansky Mts., Urgut • 1700-2500 m • 1. - 3. VI. 2001 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys titanus titanus	*Callophrys suaveola suaveola*	FN601317	kmbs-WtH 068	Kirghizstan • N Tien Shan • Trans-Ili range, Kichi-Kemen riv, Ak-Tus vil., • 2200 -2500 m • 3. V. 2006 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 2	*Callophrys* sp. 2	FN601280	kmbs-WtH 025	Iran • Boyer-Ahmad-o Kuhgiluye • Yasuj, 32 km N Sisakht, • 1600-1700 m • 19. IV. 1999 • leg. A. Salk • coll. ten Hagen
Callophrys danchenkoi danchenkoi	*Callophrys danchenkoi danchenkoi*	FN601313	kmbs-WtH 063	Armenien • Yerevan • Hrazdan riv., Numus vil., 20 km N Yerevan • 1300 m • 18. V. 2007 • leg. Shevnin • coll. ten Hagen

Taxon, aktuelle Nomenklatur	Taxon, vorgeschlagene Nomenklatur	GenBank-Nr.	ID-Code	Funddaten
Callophrys danchenkoi danchenkoi	*Callophrys danchenkoi danchenkoi*	FN601262	kmbs-WtH 005	Türkei • Ağri • Eleşkirt, Tahir Geçidi • 2200-2300 m • 30. V. 2006 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys danchenkoi danchenkoi	*Callophrys danchenkoi danchenkoi*	FN601277	kmbs-WtH 021	Syrien • Damascus • Jabal Lubnan as Sharqi, Serghaya • 1100 m • 24. V. 2004 • leg. Nadai Lázlo • coll. ten Hagen
Callophrys danchenkoi danchenkoi	*Callophrys danchenkoi danchenkoi*	FN601279	kmbs-WtH 024	Iran • Zanjan • N Qazvin, Pass N Alulak, • 2100-2400 m • 15. V. 2002 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys butlerovi butlerovi	*Callophrys butlerovi butlerovi*	FN601263	kmbs-WtH 006	Russland • South Ural • Bashkiria, Bashkortstan, Yantsh vil. • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys farsica farsica	*Callophrys farsica farsica*	FN601271	kmbs-WtH 015	Iran • Boyer-Ahmad-o Kuhgiluye • Kuh-e Dinar, Paß E Sisakht • 2700 m • 20./21. V. 2005 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys farsica farsica	*Callophrys farsica farsica*	FN601294	kmbs-WtH 041	Iran • Boyer-Ahmad-o Kuhgiluye • Kuh-e Dinar, Paß E Sisakht • 2700 m • 20./21. V. 2005 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 2	*Callophrys* sp. 2	FN601272	kmbs-WtH 016	Iran • Boyer-Ahmad-o Kuhgiluye • Kuh-e Dinar, Yasuj,Sisakht • 2400 m • 20. IV. 2001 • leg. Klir • coll. ten Hagen
Callophrys suaveola suaveola	*Callophrys suaveola suaveola*	FN601311	kmbs-WtH 061	Kasachstan • Saur • Saur Mts., Kendyrlik riv. • 1600 m • 12. VI. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys naderii naderii	*Callophrys naderii naderii*	FN601273	kmbs-WtH 017	Iran • Kerman • Qohroud mts., Gardaneh Khaneh Sorkh • 2400 m • 3. VI. 2005 • leg. Klir • coll. ten Hagen
Callophrys naderii naderii	*Callophrys naderii naderii*	FN601291	kmbs-WtH 037	Iran • Kerman • Qohroud mts., N Jiroft, Shingara pass • 2900 m • 14./15. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys naderii naderii	*Callophrys naderii naderii*	FN601281	kmbs-WtH 026	Iran • Kerman • Qohroud mts., Saarmizan pass • 2700 m • 29. VI. 2000 • leg. Kalabza • coll. ten Hagen
Callophrys sp. 4	*Callophrys* sp. 4	FN601287	kmbs-WtH 032	Iran • Kerman • N Baft, Gardaneh Qaleh Askar • 2850 m • 13./14. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 4	*Callophrys* sp. 4	FN601292	kmbs-WtH 038	Iran • Kerman • N Baft, Gardaneh Qaleh Askar • 2850 m • 13./14. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 4	*Callophrys* sp. 4	FN601324	kmbs-WtH 075	Iran • Kerman • N Baft, Korin, Gardaneh Qaleh Askar • 2800 m • 17.-19. V. 2008 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 4	*Callophrys* sp. 4	FN601333	kmbs-WtH 084	Iran • Kerman • SW Rayen, Kuh-e Hesar, Abshar • 2700-3000 m • 24./25. V. 2004 • leg. Meineke • coll. ten Hagen
Callophrys sp. 4	*Callophrys* sp. 4	FN601334	kmbs-WtH 085	Iran • Kerman • SW Rayen, Kuh-e Hesar, Abshar • 2700-3000 m • 24./25. V. 2004 • leg. Meineke • coll. ten Hagen
Callophrys sp. 5	*Callophrys* sp. 5	FN601293	kmbs-WtH 040	Iran • Mazanderan • ca. 7 km W Foulad Mahalleh, E Pass • 1900 m • 24. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 5	*Callophrys* sp. 5	FN601297	kmbs-WtH 044	Iran • Mazanderan • ca. 7 km W Foulad Mahalleh, E Pass • 1900 m • 24. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 6	*Callophrys* sp. 6	FN601267	kmbs-WtH 011	Iran • Mazanderan/Semnan • Kuh-e Shavar, vic. Tashi • 2200 m • 8. VI. 2004 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 6	*Callophrys* sp. 6	FN601296	kmbs-WtH 043	Iran • Mazanderan/Semnan • Kuh-e Shavar, vic. Tashi • 2100 m • 24. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 6	*Callophrys* sp. 6	FN601298	kmbs-WtH 045	Iran • Mazanderan/Semnan • Kuh-e Shavar, vic. Tashi • 2100 m • 24. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys armeniaca armeniaca?	*Callophrys armeniaca armeniaca?*	FN601314	kmbs-WtH 064	Armenien • NW Yerevan • Aragats Mts., Geharot river • 2100-2500 m • 10. VI. 2005 • leg. Shevnin • coll. ten Hagen
Callophrys armeniaca armeniaca?	*Callophrys armeniaca armeniaca?*	FN601315	kmbs-WtH 065	Armenien • NW Yerevan • Aragats Mts., Geharot river • 2100-2500 m • 11. VI. 2005 • leg. Shevnin • coll. ten Hagen
Callophrys jomuda jomuda	*Callophrys paulae jomuda*	FN601269	kmbs-WtH 013	Iran • Khorasan • Kuh-e Aladag, Bognord, Asadli-vill. • 1800 m • 25. V. 2005 • leg. Klir • coll. ten Hagen
Callophrys jomuda jomuda	*Callophrys paulae jomuda*	FN601288	kmbs-WtH 033	Iran • Khorasan, Kopet Dagh • Pass Qucan – Dargaz, 50 km N Qucan • 1900 m • 21. V. 2007 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys paulae paulae	*Callophrys paulae kolak*	FN601268	kmbs-WtH 012	Türkei • Van • Güzelsu, Güzeldere- Geçidi • 2500-2600 m • 31. V. 2006 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys paulae paulae	*Callophrys paulae kolak*	FN601270	kmbs-WtH 014	Iran • Zanjan • NE Takab, 17 km E Tahkt-e Suleyman • 2700 m • 2. VI. 2006 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys paulae paulae	*Callophrys paulae kolak*	FN601278	kmbs-WtH 023	Iran • Esfahan, W Kashan • Kuhha-ve Ghorod, Ghourod, vic. Kamoo • 2600 m • 24. V. 2004 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys paulae paulae	*Callophrys paulae paulae*	FN601303	kmbs-WtH 053	Iran • Bakhtiari • Zarde Kuh, Samsami, Gardaneh-ye Cheri • 2800-3100 m • 9./10. VII. 2005 • leg. Hofmann/Mollet • coll. ten Hagen
Callophrys paulae paulae	*Callophrys paulae paulae*	FN601316	kmbs-WtH 066	Armenien • Syunik • Aidzdzorsky range,Yeghegnadsor • 1800 m • 30. V./2.VI. 2007 • leg. Shevnin • coll. ten Hagen
Callophrys paulae paulae	*Callophrys paulae paulae*	FN601331	kmbs-WtH 082	Türkei • S Sivas • SE Ulaş, Yogdonduran-Geçidi, • 1750 m • 30. V. 2008 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys paulae paulae	*Callophrys paulae paulae*	FN601332	kmbs-WtH 083	Türkei • S Sivas • SE Ulaş, Yogdonduran-Geçidi, • 1750 m • 30. V. 2008 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 7	*Callophrys* sp. 7	FN601306	kmbs-WtH 056	Iran • Esfahan • N Fereydoun Shahr,, vic. Shoorud • 2600-2800 m • 25. V. 2004 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys rubi rubi	*Callophrys herculeana herculeana*	FN601282	kmbs-WtH 027	Türkei • Burdur • vic. Yassigünne • 900 m • 8. V. 1995 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 8	*Callophrys* sp. 8	FN601309	kmbs-WtH 059	Kirghizstan • Tien Shan • S Zallaisky Mts., Chon-Kemin river • 1700 m • 7. VI. 2003 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys sp. 8	*Callophrys* sp. 8	FN601131	kmbs-WtH 069	Kirghizstan • Tien Shan • S Zallaisky Mts., Chon-Kemin river • 2400 m • 10.-20. VI. 2002 • leg. et coll. ten Hagen
Außengruppe				
Callophrys (Incisalia) henrici	*Callophrys henrici*	FN601320	kmbs-WtH 071	USA • New York • Sandy Hook, Monmouth County, • 5. VI. 2004 • leg. et coll. ten Hagen
Callophrys (Callophrys) affinis	*Callophrys affinis*	FN601322	kmbs-WtH 073	USA • Kalifornien • E San Diego, Wynola – Julian, • 1200 m • 25. IV. 2000 • leg. et coll. ten Hagen
Tomares callimachus callimachus	*Tomares callimachus callimachus*	FN601323	kmbs-WtH 074	Russland • NW Kaukasus • Krasnodar, Abrau peninsula • 25. V. 2003 • leg. et coll. ten Hagen
Neolycaena musa musa	*Neolycaena musa musa*	FN601321	kmbs-WtH 072	Mongolei • Govi-Altai-aimak • Adzh-Bogd mts., 75 km SSW Tzeels, • 2000 m • 28. V. 2003 • leg. Churkin • coll. ten Hagen

8. „Kerman-Gruppe". Die 2 untersuchten, klar differenzierten Arten des Genus *Callophrys* aus der südiranischen Provinz Kerman bilden diese schwer interpretierbare Gruppe. Eine Art wurde als *C. naderii* beschrieben, die zweite (*Callophrys* sp. 4) ähnelt *C. suaveola*. Die Networkanalyse zeigt die Beziehung der „Kerman-Gruppe" als abgeleitete Endgruppe von der vorherigen.
9. „Foulad-Mahalleh"-Gruppe. Angesichts der insgesamt geringen genetischen Distanzen im CO1-Gen im Genus bilden die untersuchten *Callophrys* WtH-040 und WtH044 (*Callophrys* sp. 5) aus dem östlichen Elbursgebirge, NE-Iran, eine schwach unterstützte, aber gut differenzierte Einheit. Der minimale Abstand zu den nächsten untersuchten Proben beträgt p = 0,0075 (zur *suaveola*-Gruppe). Morphologisch sind die beiden Falter (aus einer kleinen Serie) *C. chalybeitincta* ähnlich. Die Autoren können keinerlei morphologische Unterschiede zu den in der nächsten Gruppe 6 enthaltenen Faltern WtH011, WtH043, WtH045 (*Callophrys* sp. 6) vom nur zirka 120 km entfernten Kuh-e Shavar aus der gleichen Gebirgskette erkennen (p = 0,0125). Sowohl letztere als auch die Falter aus Foulad-Mahalleh wurden an Rosensträuchern gefunden.
10. *paulae*-Gruppe. Neben der oben erwähnten *Callophrys* sp. 6 aus NE-Iran enthält diese Gruppe alle untersuchten Vertreter der an *O. cornuta* lebenden *Callophrys* aus der Türkei, Armenien, Nordiran östlich bis zum Kopet Dagh, als auch dem zentralen Zagrosgebirge (Iran). Im Westen werden diese Falter als *C. paulae paulae* und *C. paulae kolak* (Higgins 1965) determiniert, im Kopet Dagh (NE-Iran) als *C. paulae jomuda*. Auffällig ist, daß die phänologisch manchmal nicht sicher von *C. paulae* unterscheidbaren, an *O. cornuta* gebundenen *Callophrys* aus dem südlichen Zagros nicht in dieser Gruppe erscheinen, sondern in der *suaveola*-Gruppe, von deren Vertreter sie morphologisch durchaus zu trennen sind. Die beiden untersuchten *C. p. jomuda* WtH013 und WtH033 zeigen untereinander eine genetische Distanz von p = 0,0025, zu *paulae* von p = 0,0050 beziehungsweise p = 0,0025.

   Außerdem bilden die 2 untersuchten *Callophrys* WtH-063 und WtH064 vom armenischen Berg Aragats einen Seitenzweig dieses Astes des Distance Trees. Morphologisch sind diese Falter *C. chalybeitincta* ähnlich. Vermutlich handelt es sich um das, was als *Callophrys armeniaca* Zhdanko, 1998 beschrieben wurde. Die Distanz zu *C. paulae* beträgt p = 0,0025.

   Die Networkanalyse (Grafik 2) zeigt *C. paulae* im Zentrum des *Callophrys*-Netzes.
11. Die 3 *Callophrys* WtH027, WtH059 und WtH069 zeigen keine Unterschiede im untersuchten Genabschnitt. Die Distanz zur *paulae*-Gruppe beträgt p = 0,0050. Die Probe WtH027 stammt von einem Falter aus der Südwesttürkei und entspricht der Beschreibung von *C. rubi herculeana*, während das genetische Material WtH059 sowie WtH069 von einer *C. rubi* sehr ähnlichen Art (in Tabelle 1, Grafiken 1, 2 als *Callophrys* sp. 8) aus dem kirghisischen Tien-Shan-Gebirge stammt.

Diskussion

Die Interpretation der erhaltenen Ergebnisse ist keineswegs eindeutig und leicht. Insgesamt entsprechen die Ergebnisse nicht den Hoffnungen, die die Autoren in die Methode gesetzt hatten, um die Vielzahl offener taxonomischer Probleme im Genus *Callophrys* einfach und sicher zu lösen. Trotzdem gibt es in Kombination mit anderen — in der vorliegenden Arbeit nicht näher untersuchten — Merkmalen der Falter wie Phänologie, Genitalmorphologie, Biogeographie, Ökologie einige interessante Hinweise. Bei ten Hagen (2006, 2008, 2009) wurden schon erste Ergebnisse der Untersuchungen des Autors präsentiert; weitere Einzeldarstellungen sind geplant.

Hebert et al. (2003) und auch Hajibabaei et al. (2006) zeigten, daß für das von ihnen untersuchte Material ein kurzer „Barcode" von ca. 300 Basenpaaren (bp) des COI-Gens für die Artdetermination der überwiegenden Zahl der DNA-Proben ausreichend ist. Meier (2008) geht noch weiter und folgert, daß ab 300 bp aus längeren Sequenzen kein weiterer Erkenntnisgewinn zu erwarten sei. Unter anderem scheint dies auch für die kürzlich zur Schmetterlingsfamilie Pieridae publizierten Arbeiten (Back et al. 2006a, 2006b, 2008) für die Tribus Anthocharidini zu gelten. Die in der vorliegenden Studie erhaltenen Ergebnisse scheinen aber eher die Erfahrungen von Wiemers & Fiedler (2007) zu bestätigen (ähnlich unter anderem auch Hickerson et al. 2006, Lukhtanov & Shapoval 2008, Niehuis et al. 2007, Pons et al. 2006, Schmidt & Sperling 2008, Will et al. 2005, Will & Rubinoff 2004), die für das Genus beziehungsweise Subgenus *Agrodiaetus* (Lycaenidae) eine erhebliche Fehlerquote bei ausschließlicher Determination durch Barcoding nachwiesen und die Berücksichtigung anderer Daten fordern. Deutliche Differenzen in der DNA deuten auf versteckte Arten („cryptic species") hin, gleiche DNA-Sequenzen treten jedoch auch bei gut differenzierten, näher verwandten Taxa auf.

1. *avis*-Gruppe

Die westmediterrane Art *C. avis* ist im COI-Gen mit Abstand am deutlichsten differenziert von allen untersuchten paläarktischen *Callophrys*. Phänologisch sieht sie *C. rubi*, besonders der ebenfalls westmediterranen rotbraunen Unterart sehr ähnlich und wird in der Regel an der rotbraunen Behaarung der Stirn identifiziert. Ebenso sind die überwiegende Bindung an das Vorkommen von *Arbutus* wie auch das weibliche Genital artcharakteristisch. Im COI-Baum steht *C. avis* den beiden untersuchten nearktischen Verwandten näher als die anderen paläarktischen *Callophrys*. Das untersuchte Gensegment ist für die Tiere aus Südfrankreich und Marokko identisch. In einer Reihe anderer Arbeiten (Habel et al.

2007, Kodandaramaiah & Wahlberg 2009, Nazari et al. 2009, Stöck et al. 2008, Vodolazhsky & Stradomsky 2008, Weingartner et al. 2006) wurden oft deutliche genetische Unterschiede zwischen den Schwestertaxa beiderseits der Meerenge von Gibraltar festgestellt, die zum Teil in der Aufwertung in den Artrang resultierten. Die richtige Determination des unpräparierten, wegen verborgener Frons als *C. rubi* fehldeterminierten nordafrikanischen Tieres wurde an Hand des Barcodes erkannt und nach Präparation bestätigt.

Die basale Stellung von *C. avis* im COI-Baum zwischen den nearktischen und paläarktischen *Callophrys* gibt zur Spekulation Anlaß, daß *C. avis* dem gemeinsamen Vorfahren näher steht als die anderen paläarktischen *Callophrys* s. str., obwohl die Region mit der höchsten Diversität heute ganz klar im anatolisch-iranischen Raum liegt.

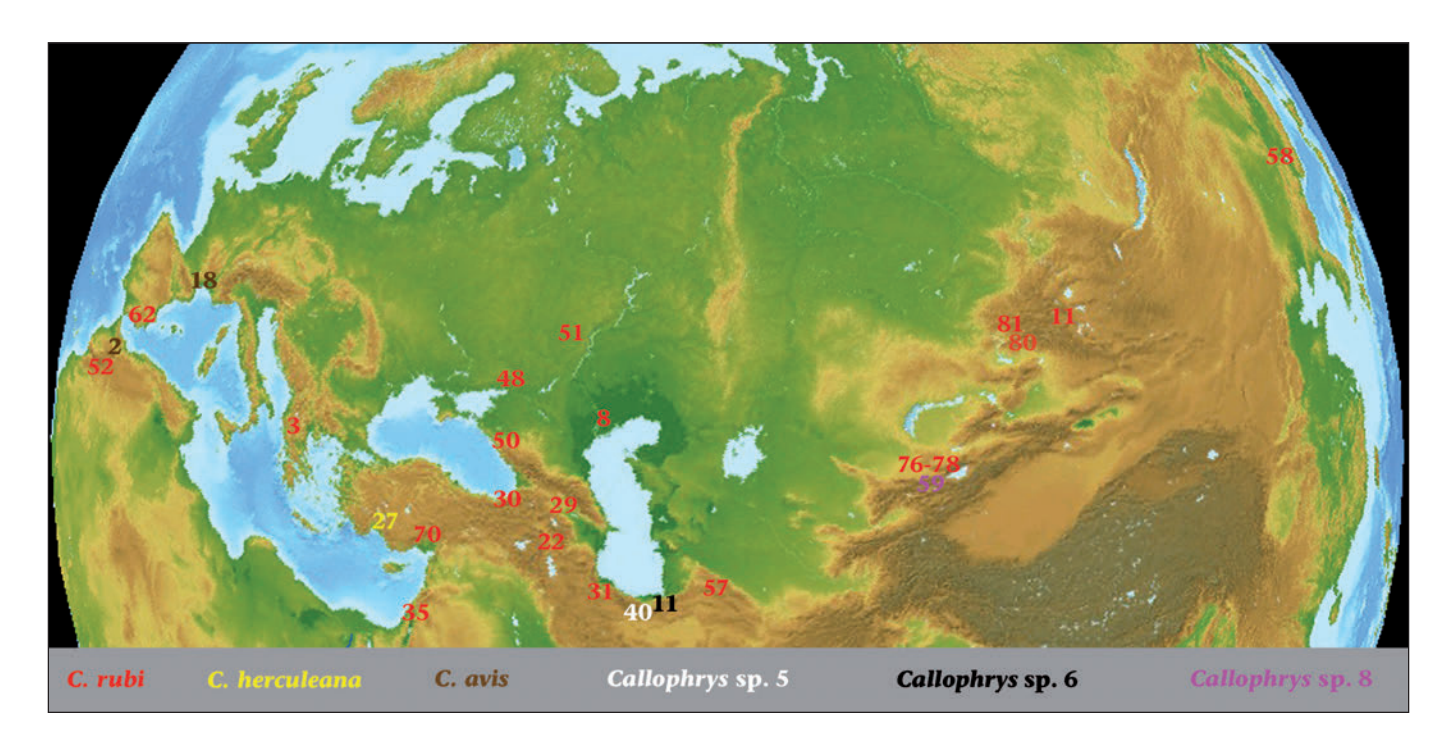
Zur gleichen basalen Gruppe wie *C. avis* gehört überraschenderweise *Ahlbergia (Cissatsuma) tuba.* Die zweite untersuchte *Ahlbergia, Ahlbergia (Ahlbergia) frivaldszkyi,* erscheint an anderer Stelle im COI-Baum nahe bei *C. rubi*. Wenn man die hier angewandte Methode des COI-Barcoding für geeignet hält, phylogenetische Zusammenhänge zu konstruieren, ergibt sich die Konsequenz, daß *Ahlbergia* trotz großer habitueller Ähnlichkeit kein Monophylum ist. Leider ist die überwiegende Zahl dieser Arten nur sehr lokal in China verbreitet und nur wenig Material in Sammlungen verfügbar, so daß eine zufriedenstellende Bearbeitung der Gattung bisher nicht realisierbar war. Die Vielzahl von zweifelhaften Neubeschreibungen in der Revision durch Johnson (1992), vielfach an Hand von Einzelexemplaren in schlechtem Erhaltungszustand, abgebildet nur in schwarzweiß, läßt aber eine weitere Bearbeitung wünschenswert erscheinen. Die Networkanalyse (Grafik 2) zeigt auch eine Beziehung von *A. (Ciss.) tuba* zu den nearktischen Verwandten. Denkbar ist somit, daß *A. tuba,* und somit das Subgenus *Cissatsuma,* den nearktischen *Incisalia* näher steht als den anderen *Ahlbergia*, zu denen das Taxon *frivaldszkyi* zu zählen ist.

Die nearktischen *Callophrys* (sensu lato) zeigen teilweise Hinterflügel mit Schwänzchen, jedoch ohne Lobus: Genus *Mitoura*. Deren Beziehung zu den Theclini ist unübersehbar. Die nearktischen *Callophrys* s. str., wie der ebenfalls untersuchte *C. affinis,* sehen den paläarktischen *Callophrys* sehr ähnlich, haben keine Schwänzchen, jedoch meist einen Lobus am Hinterflügel. *Mitoura*-ähnliche Taxa kommen in der Paläarktis nicht vor. Diese Situation impliziert, daß die Abtrennung von den Theclini und die Auftrennung der *Callophrys* (sensu lato) vermutlich in der Nearktis erfolgt ist und das Genus *Callophrys* (s. str., ohne Schwänzchen) von Osten her Asien und Europa besiedelt hat. Warum der phylogenetisch vermutlich älteste Vertreter *C. avis* das westliche Ende Eurasiens und Nordafrika besiedelt, bleibt unklar. Es gibt dafür grundsätzlich (mindestens) 2 mögliche Erklärungen:

1. Der phylogenetisch älteste eurasische *Callophrys* (s. str.) ist über die Beringbrücke und dann am weitesten nach Westen gekommen und war im dortigen Refugium später nur noch begrenztem Evolutionsdruck ausgesetzt, während weiter östlich die Entwicklung und Aufspaltung der ancestralen *C.-avis*-ähnlichen Formen signifikant schneller verlief.
2. Eine weitere potentielle Erklärung wäre, daß die Besiedlung Eurasiens nicht erst im späten Tertiär oder Quartär von Osten über die Beringbrücke, sondern wesentlich früher (Oberkreide bis frühes Tertiär) schon von Westen her über die Thule-Brücke erfolgte und der ancestrale *Callophrys* im äußersten SW der Paläarktis wiederum konservativ erhalten blieb, während bei der Expansion nach O und SO im Nahen und Mittleren Osten die Artentwicklung weit schneller verlief. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß die (polyphyletische?) Pflanzengattung *Arbutus* — die bevorzugte Raupenfutterpflanze von *C. avis* — und verwandte Genera nahezu ausschließlich in der Nearktis und der Mediterraneis vorkommen. In der gesamten restlichen Paläarktis sind lediglich 3 zirkumpolar verbreitete Vertreter von *Arctostaphylos* (Bärentrauben, Ericaceae) mit *Arbutus* verwandt (Hileman et al. 2001).

Der als Außengruppe untersuchte *Callophrys (Incisalia) henrici* (Grote & Robinson, 1867) und ähnliche Arten des Subgenus *Incisalia* zeigen nur reduzierte Schwänzchen, oder diese fehlen auch ganz (Pyle 1995). Einzelne Arten haben einen Lobus. Sie sehen auf der Unterseite und wegen des charakteristisch gewellten Außenrandes der Flügel den altweltlichen *Ahlbergia* sehr ähnlich. Die untersuchten *A. frivaldszkyi* und *A. (C.) tuba* waren deshalb beide zusammen in der Nähe von *Incisalia henrici* erwartet worden, keineswegs jedoch *frivaldszkyi* als Zweig in der *rubi*-Artengruppe (siehe unten). Auch in der DNA-Barcoding-Studie von Lukhtanov et al. (2009) ergibt sich dieser Befund, wird aber nicht weiter kommentiert. Umgekehrt war der nearktische *C. affinis* (braune Oberseite, grüne Unterseite, kleiner Lobus) nahe bei den sehr ähnlichen altweltlichen *Callophrys* zu erwarten. Auch diese *Callophrys* mit grüner Flügelunterseite sind anscheinend kein Monophylum. Da weder ausreichend Material aus dem derzeitigen Genus *Ahlbergia* noch genügend nearktisches Material der Genera *Mitoura, Incisalia* und *Callophrys* in die vorliegende Untersuchung einbezogen wurde, erscheint es zum jetzigen Zeitpunkt am sinnvollsten, alle genannten Genera als Monophylum unter dem ältesten Namen *Callophrys* zusammenzufassen. Wir schließen uns somit hier der taxonomischen Auffassung von Scott (1986) für die Nearktis sowie Gorbunov (2001) und Gorbunov & Kosterin (2003) für die Paläarktis an, ohne selbst auf Genusebene taxonomische Änderungen vornehmen zu müssen.

Es ist offensichtlich, daß das COI-Barcoding für das hier untersuchte Genus allein nicht geeignet ist, eine taxonomisch verwertbare phylogenetische Verwandtschaft



C. rubi C. heracleana C. armeniaca? C. naderii Callophrys sp. 5 Callophrys sp. 6 Callophrys sp. 8

zu erkennen. Entgegen des hier gefundenen Ergebnisses im COI-Gen ist die offensichtliche habituelle Nähe von *Incisalia* und *Ahlbergia* möglicherweise entscheidender, und die Flügelform und Unterseitenzeichnung sind plesiomorphe Merkmale beider Subgenera, nicht jedoch das Ergebnis einer konvergenten Entwicklung. Dies bedeutet eine zweite Überquerung der Beringstraße durch einen gemeinsamen Vorfahren von *Ahlbergia*/*Incisalia* neben der von *Callophrys* sensu stricto. Da alle *Ahlbergia* ausschließlich ostpaläarktisch verbreitet sind, erscheint in diesem Fall eine frühe Ausbreitung über die Thule-Brücke eher unwahrscheinlich.

C. danchenkoi *Callophrys* sp. 7 *Callophrys* sp. 2 *Callophrys* sp. 4 *C. butlerovi* *C. suaveola*



Karten 1–4: Die Karten zeigen die geographische Lage der untersuchten Proben einiger *Callophrys*. Die Nummern entsprechen den 2 letzten Ziffern des DNA-Codes, der auch in Tabelle 1 verwendet wird.

2. *C. rubi* und *C. chalybeitincta*

Zur Variation, Diagnose, Ökologie beider Taxa wurde bereits einiges in der Einleitung gesagt. *C. rubi* ist mit weitem Abstand der Vertreter des Genus mit dem größten Verbreitungsareal in Eurasien vom Atlantik bis zum Pazifik, von Nordskandinavien (Eliasson et al. 2005, Henriksen & Kreutzer 1982) bis zum Antiatlas in Südmarokko (Tarrier & Delacre 2008, Tennent 1996), von Kamtschatka bis NW-China (Gorbunov 2001, Gorbunov & Kosterin 2003, Lukhtanov & Lukhtanov 1994, Tuzov et al. 2000), in der Türkei (Hesselbarth et al. 1995), in der Levante bis Nordisrael (Benyamini 1990, 1993, Larsen 1974), sowie im Kopet Dagh (Tshikolovets 1998). Im Kaukasus soll die Art jedoch entsprechend der Literatur fehlen (Tuzov et al. 2000, pers. Mitt. B. Stradomsky, Rostov am Don). Im Kaukasus, in NW-Iran, Transkaukasien und dem nördlichen Kaukasusvorland wird *rubi* von *chalybeitincta* ersetzt.

Trotz des großen Verbreitungsareals (vergleiche Karte) konnte bei *C. rubi* für das COI-Gen keine nennenswerte intraspezifische Diversifizierung gefunden werden, was für einen andauernden Genfluß und freie Durchmischung der Populationen spricht. Auch die verschiedenen beschriebenen Unterarten von *C. chalybeitincta* unterscheiden sich (mit Ausnahme von Falter WtH009) weder untereinander noch von *C. rubi.* Fehlende Unterschiede im COI-Gen bedeuten aber nicht zwangsläufig Konspezifität (siehe oben), zusätzlich fehlende Unterschiede im Genital, der Flügelform, der Flügelunterseite, der Ökologie und besonders biogeographische Überlegungen unterstützen aber entschieden diese These. Es gibt keinen erkennbaren Grund, warum eine Art mit einer derart großen ökologischen Potenz und dem beschriebenen Verbreitungsareal gerade im Kaukasus fehlen soll und von einer anderen Art ersetzt wird. Dafür ist den Autoren auch kein Parallelfall bekannt, weder bei den Tagfaltern noch in anderen Familien. Letztlich unterscheiden sich *C. rubi* und *C. chalybeitincta* auch nur an der Färbung der Flügeloberseite: verschiedene Braunfärbungen versus verschiedene Schwarzfärbungen. Manche Populationen von *C. chalybeitincta* (zum Beispiel: Armenien, Khosrov-Reservat, leg. ten Hagen) kommen *rubi* in der Färbung sehr nahe. Die stahlgraue Färbung mit blaumetallischem Glanz der Falter des NW-Kaukasus bei gleichzeitig ausgeprägten Loben der Hinterflügel unterscheidet die ssp. *schamyl* von den weiter im Hinterland vorkommenden Populationen. Dies ist aber vermutlich mit den sehr viel höheren Niederschlägen der Region zu erklären.

Wenn man akzeptiert, daß *C. chalybeitincta* die im Kaukasus entstandene Subspezies von *C. rubi* ist, darf man gleichzeitig folgern, daß *C. chalybeitincta* sich im nördlichen, flachen Kaukasusvorland expansiv verhält: ssp. *nigra* in der Region des Unterlaufs des Don und ssp. *eitschbergeri* Dantchenko, 2000 im Wolgadelta. Die schwarze Form (dominant?) scheint die braunen *C. rubi* zu verdrängen. Nach einer pers. Mitteilung von B. Stradomsky, Rostov am Don, sollen südöstlich des Asowschen Meeres sowie sehr lokal am Mittleren Don beide Morphen vorkommen. Dies wird von verschiedenen Autoren jedoch nicht als syntopes Vorkommen zweier Arten, sondern als Hybridisierungszone interpretiert. Andernfalls sollte das Areal der Sympatrie besonders im Kaukasus selbst viel größer sein. Als taxonomische Konsequenz schließen wir uns Gorbunov (2001) an und betrachten *chalybeitincta* (**stat. n.**) und *schamyl* (**stat. rev.**) als Unterarten von *C. rubi*. Für die Taxa *eitschbergeri* (vergleiche auch die Synonymisierung bei Tshikolovets 2003b) und *nigra* erscheinen uns die habituellen Unterschiede nicht zwingend genug für eine Einstufung auf taxonomisch relevanter Ebene, deswegen sollten diese Taxa unter *C. rubi chalybeitincta* synonymisiert werden (**syn. n.** für *nigra*).

Der Falter WtH009 aus Südarmenien unterscheidet sich phänologisch nicht von anderen armenischen *C. rubi chalybeitincta*. Er stammt aus einer mit *Paliurus* (Rosaceae) assoziierten Population, wie sie der Erstautor in Armenien und NW-Iran öfter gefunden hat (unter anderem WtH031 und WtH055). Die relativ große genetische Distanz dieses Einzeltiers zu den anderen Vertretern der Gruppe ist zur Zeit nicht zu erklären.

C. rubi aus der südwestmediterranen Region sind oberseits fuchsbraun und somit gut habituell differenziert, auch wenn kein Unterschied im COI-Barcode gefunden wurde.

C. rubi sibirica wurde aus dem transbaikalischen Raum in Sibirien, *C. rubi borealis* Möschler, 1891 aus Kasan östlich von Moskau, jedoch westlich des Urals beschrieben. In einigen Publikationen (unter anderem: Gorbunov 2001, Gorbunov & Kosterin 2003, Lukhtanov & Lukhtanov 1994) werden beide unter dem älteren Namen *borealis* zusammengefaßt. Tshikolovets (1989, 2003b, 2005) synonymisiert beide Subspezies unter dem Namen *C. rubi*, während Tuzov (2003) alle 3 Namen gelten läßt. Das den Autoren vorliegende Material läßt geringe Unterschiede ostpaläarktischer Population zu typischen *rubi* erkennen. Die *C. rubi* der sibirischen Ebene sind nicht von denen der südsibirischen Gebirge und des Tienshan zu unterscheiden. Für alle östlichen Populationen in Asien scheint den Autoren der Name *sibirica* eher angemessen als *borealis*, dessen Typenfundort im europäischen Teil Rußlands liegt.

Taxonomisch unklar ist die Situation der Populationen des Kopet-Dagh-Gebirges. Sie liegen isolierter als alle anderen Populationen, da weder im westlichen Teil der zentralasiatischen Gebirge noch im zentralen Nordiran *C. rubi* bekannt ist. Die vorliegenden Falter sind vergleichsweise heterogen: einige haben eine typisch braune *rubi*-Oberseite, andere sind schwarzbraun und gleichen *C. rubi chalybeitincta*. Es bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten, die Situation zu klären.

Zur gleichen Gruppe des erhaltenen COI-Baumes wie *C. rubi* gehören auch *C. mystaphia* und *C. (A.) frivald-*

szkyi (siehe Diskussion oben). Die sehr lokal nachgewiesene *C. mystaphia* ist am einfachsten von allen *Callophrys* an der schwarzen Flügeloberseite, dem gänzlichen Fehlen des Lobus der Hinterflügel, der rechtwinklig gebogenen weißen Submarginallinie und der Bindung an eine hochalpine Rhabarber-Art zu erkennen (ten Hagen 2006, Kemal 2009). Obwohl sich das untersuchte Gensegment lediglich in einem Basenpaar (Grafik 2) zwischen *C. rubi* und *C. mystaphia* unterscheidet, lassen alle anderen Merkmale *C. mystaphia* als einen sehr eigenständigen Zweig neben *C. rubi* erscheinen. Das artspezifisch gut charakterisierte weibliche Genitalorgan läßt eine bemerkenswerte Ähnlichkeit zu dem der *Ahlbergia*-Arten erkennen (ten Hagen 2006). Diese Nähe zu *Ahlbergia* ist auch Ergebnis der COI-Distanzanalyse, obwohl habituell keine intermediäre Stellung von *mystaphia* zu sehen ist. Die Networkanalyse (Grafik 2) sieht beide auch als Endpunkte verschiedener Zweige. Die Tatsache, daß statistisch für (manche) Lepidoptera eine Rate von 2,3 % Veränderung für mtDNA je 1 Million Jahre ermittelt wurde (Brower 1994), bedeutet nicht, daß dies universell für alle Taxa und alle Genloci gilt. Der Selektionsdruck ist auch auf dem COI-Gen unterschiedlich und ist scheinbar bei *C. frivaldszkyi* oder *C. mystaphia* geringer als zum Beispiel im Komplex um *C. paulae*. Eiszeiten beziehungsweise damit einhergehende Trockenzeiten scheinen zumindest in den Hochebenen des Nahen und Mittleren Ostens, dem Diversifikationszentrum von *Callophrys*, in gravierend kürzeren Zeiträumen Einfluß auf die Artbildung genommen zu haben und haben zum Beispiel bei *Polyommatus* Latreille, 1804, Subgenus *Agrodiaetus* Hübner, 1822, zu teilweise sehr kleinräumigen Artverbreitungsarealen geführt.

3. *suaveola*-Gruppe

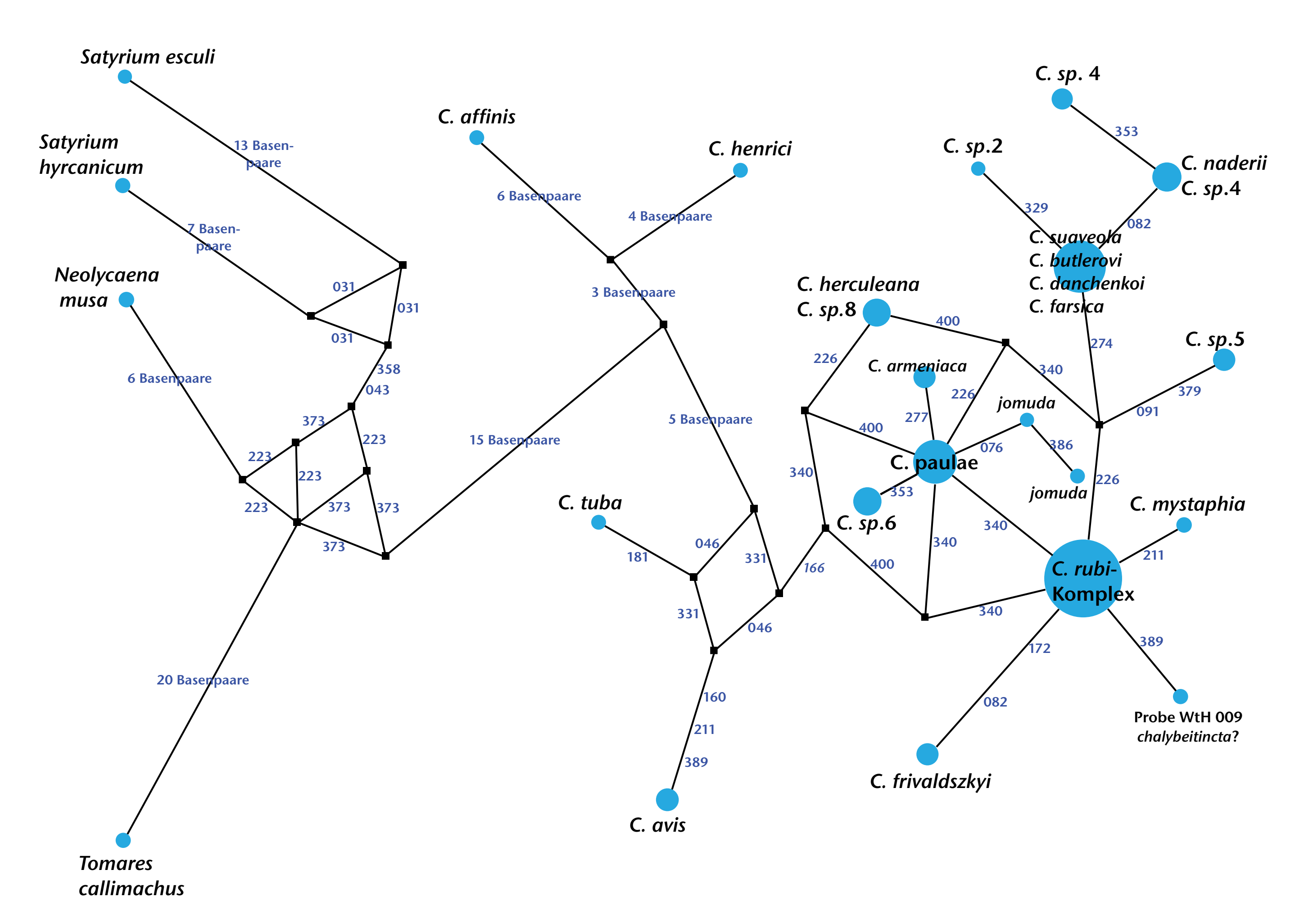
Diese enthält unter anderem die Taxa *C. suaveola* (Dshungarischer Alatau, Tarbagatai, Saur-Gebirge, Altai, nach Toropov & Zhdanko 2009) und die von Zhdanko (1998) abgetrennten Arten *C. titanus* (Pamir, Alai, W-Tienshan) und *C. danchenkoi* (Levante, Anatolien, N-Iran) sowie die ebenfalls erst kürzlich beschriebene *C. butlerovi* (Südural). Bei allen 4 Taxa ist der Hinterflügellobus bis auf einen oder einige Spitzchen in der Form des Hinterflügels reduziert; der Androkonienfleck der ♂♂ signifikant größer als bei anderen *Callophrys;* die weiße Linie der Flügelunterseite oft reduziert; die Falter mehr oder weniger mit Umbelliferen assoziiert. Sie sind phänologisch kaum zu unterscheiden und wurden daher von den meisten Autoren (Hesselbarth et al. 1995, Lukhtavov & Lukhtanov 1994) vor der Neubeschreibung entweder nicht unterschieden oder werden synonymisiert (Gorbunov 2001, Gorbunov & Kosterin 2003, Tshikolovets 1997, 1998, 2000, 2003a, b, 2005). Auch die vorliegende mtDNA-Untersuchung läßt keine Unterschiede erkennen. Zhdanko gibt Unterschiede im Genital als wesentlichen Grund für seine Neubeschreibungen an. Auch wenn Zhdankos Genitalzeichnungen stark vereinfacht sind (Zhdanko 1998, Zhdanko *in* Tuzov et al. 2000), bestätigen Untersuchungen des Erstautors (unveröffentlicht) jedoch teilweise die Unterschiede der weiblichen Genitalien. Dies gilt insbesondere für *C. butlerovi*, am wenigsten für *C. titanus.* Tshikolovets (2005) kommt nach Untersuchung des Holotypus von *C. titanus* zu dem Schluß, daß es sich um ein großes Exemplar von *C. rubi* handelt. In der Originalbeschreibung ist keine Abbildung enthalten; die von Zdhanko (*in* Tuzov et al. 2000) abgebildeten Falter (leider keine Typen!) sehen nach Meinung des Erstautors jedoch eher *C. suaveola* ähnlich. Auch der bei Tshikolovets (2005) abgebildete Paratypus von *C. titanus* zeigt den großen Androkonienfleck und sieht eher *C. suaveola* als *C. rubi* ähnlich. Aus der Gegend des Typenfundortes im Zaalaisky-Alatau liegen den Autoren 2 verschiedene, teilweise syntop gefangene *Callophrys* vor: einer ähnelt *C. suaveola*, der andere *C. rubi* (vergleiche untersuchte Tiere WtH059 und WtH069, WtH076–078). Ohne eigene Untersuchung des Holotypus können die Autoren nicht definitiv entscheiden, welches Taxon Zhdanko als *C. titanus* beschrieben hat; es spricht aber einiges dafür, daß er die von ihm selbst bei Tuzov et al. (2000) abgebildeten und im Text charakterisierten *suaveola*-ähnlichen Falter meint. Wir schließen uns hier somit der Synonymisierung von *C. titanus* mit *C. suaveola* an. Neben dem bisher Gesagten spricht auch die Zugehörigkeit des Dshungarischen Alataus (TL. von *C. suaveola*, nördlichster Teil des Tienshan) zum gleichen zoogeographischen Areal wie der Zaalaisky-Alatau (TL. von *C. titanus*, NW-Teil des Tienshans) dafür, daß neben *C. suaveola* keine zweite kaum unterscheidbare Art zu erwarten ist. Mit Recht zieht Zhdanko selbst im Vorwort zu Toropov & Zhdanko (2009) den Dschungarischen Alatau biogeographisch zum Tienshan, und es wird geplant, die Tagfalterfauna der weiter östlichen Gebirge Altai und Sayan in separaten Bänden abzuhandeln.

Im Gegensatz dazu ist das vom zentralasiatischen Verbreitungsgebiet isolierte Vorkommen von *C. butlerovi* im zoogeographisch erheblich verschiedenen Südural (vergleiche Karte) neben den auch vom Erstautor verifizierten Unterschieden im ♀-Genital jedoch ein gutes Argument gegen Konspezifität mit *C. suaveola* trotz der Gleichheit im COI-Gen.

C. danchenkoi ist in der Türkei (im Osten, Südosten), in Syrien, Libanon, Armenien und Nordiran immer nur sehr lokal bekannt (Hesselbarth et al. 1995, Nazari 2003). Sichere Nachweise aus dem Zagrosgebirge sind nur aus dem Norden (Tahkt-e Suleyman, Grenze der Provinzen Zangan/Westaserbaidschan) bekannt. Für Ostiran (östlicher Elburs, Kopet Dagh) fehlen Nachweise (Nazari 2003, Tshikolovets 1998, eigene Untersuchungen). Somit sind auch die Verbreitungsgebiete von *C. danchenkoi* und *C. suaveola* deutlich disjunkt (vergleiche Karte). Es gibt bei den Tagfaltern keine andere Art, deren Verbreitungsgebiet dem gemeinsamen Areal von *danchenkoi* und *suaveola* entsprechen würde. Auch hier ist die Biogeographie Argument gegen Konspezifität von



Grafik 1: Dendrogramm, erstellt durch Neighbour-joining-Analyse (NJ-tree) aus den genetischen Distanzen des eines mitochondrialen COI-Genabschnitts (400 bp) der untersuchten Taxa einschließlich der in der GenBank verfügbaren homologen DNA-Sequenzen von *Satyrium esculi* (Hübner, 1804) und *S. hyrcanicum* (Riley, 1939). Der Maßstab entspricht 0,001 Substitutionen pro Basenposition.



Grafik 2: Networkanalyse der COI-Sequenzen der untersuchten *Callophrys* und Außengruppen. Die hellblauen, größeren Knoten sind die Haplotypen. Die Größe der Kreise korreliert mit der Anzahl der untersuchten Individuen mit identischer Gensequenz. Die kleinen, schwarzen Knoten sind von der Software konstruierte hypothetische Genotypen, die zur Konstruktion des Netzwerks notwendig sind. Es sind Zwischenschritte der Evolution, die notwendig gewesen sein müssen, denen jedoch kein aktuell untersuchtes Individuum zugrunde liegt. Die dunkelblaue Zahl neben den Zweigen gibt das Basenpaar an, das in dem Mutationsschritt verändert wurde. Bei längeren Zweigen ist nur die Anzahl der Mutationen angegeben; auf die Angabe der einzelnen Basenpaare wurde verzichtet.

C. suaveola und *C. danchenkoi*, schließt sie aber natürlich nicht aus.

Neben den bisher besprochenen „Umbelliferen-Arten" enthält die COI-Artengruppe 3 aber auch den Verwandten von *C. paulae* aus dem südlichen Zagrosgebirge im Iran: *C. farsica*. Die Falter sind von *C. paulae* aus dem benachbarten nördlichen Zagros und Ostanatolien phänologisch nicht immer sicher zu unterscheiden (ten Hagen 2009). *C. farsica* ist wie *C. paulae* an *O. cornuta* gebunden. Bereits vor Durchführung der COI-Untersuchung war ein signifikanter Unterschied im Bau des weiblichen Genitals aufgefallen. Neben Tieren vom Kuh-e Dinar und Barm-i Firuz wurde die abweichende Genitalform auch bei Faltern aus Qaderabad (östlicher Teil der Provinz Fars) nachgewiesen und führte zusammen mit dem DNA-Befund zur kürzlichen Neubeschreibung. An *O. cornuta* gefundene *Callophrys*-Populationen aus dem mittleren Zagros (Paß SW Aligudarz und Gardaneh-ye Cheri, Kuh-e Zarde) wurden durch Genitaluntersuchung eindeutig als *C. paulae* bestimmt (ten Hagen 2009). Übergangsformen wurden bisher nicht gefunden. Auf Grund des Habitus und der Ökologie waren die beiden untersuchten Falter eigentlich als Seitenzweig in der COI-Artengruppe 6 zusammen mit *C. paulae* erwartet worden, und *C. farsica* ist sicher nicht der bisher nicht aufgefundene „*C. danchenkoi*" aus SW-Iran. Eine denkbare Hypothese wäre: Da in dem am weitesten südlich gelegenen Teil des Zagrosgebirges (Provinz Kerman) jedoch wieder an Umbelliferen gebundene *Callophrys* (in Grafik 1, 2; Tabelle 1 als *Callophrys* sp. 4) mit *suaveola*-ähnlichem Habitus nachgewiesen wurden, ist es denkbar, daß genetisches Material eines ehemals flächenhaft verbreiteten gemeinsamen „Umbelliferen"-Vorfahren von *suaveola-butlerovi-danchenkoi-Callophrys* sp. 4 nach Reduktion auf das heute sehr lokale Vorkommen dieser Taxa durch interspezifische Kreuzung letztlich in den noch heute kontinuierlich verbreiteten *Onobrchis-cornuta-Callophrys* gelangt ist und der „Umbelliferen"-*Callophrys* in SW-Iran schlußendlich assimiliert worden ist.

Die beiden Falter WtH025 und WtH016, die ebenfalls in der COI-Gruppe 3 erscheinen, können nicht zugeordnet werden. Es handelt sich um Einzeltiere, deren Ökologie nicht selbst beobachtet werden konnte. Beide sind einander sehr ähnlich und erinnern im Aussehen an *C. danchenkoi*. Ihre Hinterflügelform zeigt aber noch weniger Struktur als bei *C. danchenkoi*, und der Androkonien-

fleck ist bei gleicher Länge deutlich schmaler. Weitere Feldarbeit ist nötig.

4. „Kerman"-Gruppe

Diese COI-Gruppe enthält 2 eindeutig verschiedene *Callophrys,* die beide in den Hochgebirgen der südiranischen Provinz Kerman gefunden wurden. Beide zeigen phänologisch, genitalmorphologisch und biologisch keine nähere Verwandschaft zueinander innerhalb des Genus. Die eine Art wurde kürzlich als *C. naderii* beschrieben (ten Hagen 2008).

Sie ist mit Rosensträuchern assoziiert, ähnelt einer kleinen *C. rubi,* jedoch mit 2–3 kleinen Hinterflügelloben. Die vorliegenden Tiere der anderen Art, in Tabelle 1 und den Grafiken als *Callophrys* sp. 4 bezeichnet (WtH-032, WtH038, WtH075, WtH084 und WtH085), wurden an einer sehr großwüchsigen Umbellifere gefangen. Die Falter sind deutlich größer als *C. naderii* und gleichen phänologisch *C. danchenkoi* und *C. suaveola*, von denen sich auch das weibliche Genitalorgan wenig unterscheidet. Das bisher einzige aufgefundene abgeflogene ♂ zeigt einen vergleichsweise großen Androkonienfleck. Obwohl das nächste bekannte Vorkommen von *C. danchenkoi* mindestens 1000 km entfernt im nördlichen Zagros liegt, wurden diese Falter als Zweig in der Nähe der *suaveola*-Gruppe 3 des Distanzbaumes erwartet. Zur Zeit ist nicht mit Sicherheit zu erklären, warum die beiden aus der Provinz Kerman bekannten, morphologisch und biologisch gut differenzierten Arten keine oder nur geringe Unterschiede im untersuchten mtDNA-Segment zeigen. In der Literatur sind einige Mechanismen und Hypothesen für geringe oder fehlende genetische Divergenz bekannt (Funk & Omland 2003, Hurst & Jiggins 2005, Jiggins 2003, Sturmbauer & Meyer 1992, Wiemers & Fiedler 2007).

- **Hybridisation mit Genaustausch:** Da beide sehr lokal und *C. naderii* schon wegen der notwendigen Rosensträucher auch nur in sehr geringen Populationsgrößen vorkommt, dürfte immer mal wieder Introgression als Ergebnis von interspezifischen Paarungen vorkommen. Wenngleich auch *Callophrys* sp. 4 bisher nur in wenigen Tieren gefunden wurde, sind geeignete Biotope mit Umbelliferen in großen Beständen in Kerman weit verbreitet, während Rosenbüsche auf wenige bachbegleitende Biotope begrenzt sind. Freilandbeobachtungen zeigen, daß beide Arten in Kerman — wie auch andere lokalisierte *Callophrys* bei syntopem und synchronem Vorkommen — sehr gewissenhaft darauf achten, ihr Mikrobiotop nicht zu verlassen und sich nicht in der Umgebung mit anderen zu vermischen. *C. naderii* verläßt auch bei Störung den Rosenbusch meist nicht oder kehrt nach wenigen Minuten zurück. *C. naderii* wurde bisher niemals auf Blüten beobachtet (ten Hagen 2008) und scheint eher kohlenhydrathaltige Ausscheidungen anderer Insekten (Blattläuse, Zikaden) auf den Sträuchern zu bevorzugen.
- Eine zweite Möglichkeit, die zu vermeintlich fehlender genetischer Distanz führt, sind **„Pseudogene",** die statt der mtDNA untersucht wurden (Brower 2006). Dies konnte für die vorliegenden Sequenzen aber ausgeschlossen werden.
- Grundsätzlich muß sich auch nicht jedes einzelne Gen bei der Artdifferenzierung weiterentwickeln, auch wenn für Lepidoptera statistisch eine Rate von 2,3 % Veränderung für mtDNA je 1 Million Jahre ermittelt wurde (Brower 1994). Die festgestellte fehlende Differenzierung im COI-Gen sollte daher zur Überprüfung durch Untersuchung weiterer Genloci abgeklärt werden. Wenn einfach nur das phylogenetische Signal im COI-Gen fehlt, erklärt dies jedoch noch nicht, warum dieses Signal ausgerechnet bei den leicht unterscheidbaren 2 *Callophrys* fehlt, die in der iranischen Provinz Kerman nahezu syntop und synchron vorkommen, jedoch morphologisch offensichtlich kein nächstverwandtes Artenpaar bilden.
- Eine weitere Hypothese ist, daß bei sehr jungen Arten die morphologische Artbildung schneller verlaufen ist als die Artbildung auf molekularer Ebene. Diese Hypothese trifft jedoch ebenfalls am ehesten auf nächst verwandte Taxa zu. **„Incomplete lineage sorting"** der scheinbar phylogenetisch jungen *Callophrys* mag am ehesten Erklärung für Diskrepanz zwischen genetischem und phänologischem Befund in diesem Fall dienen.
- Vertikal, also von der Mutter auf die Nachkommenschaft, weitergegebene Symbionten (mitochondriale ***Wolbachia*-Bakterien**) wurden unter anderem bei afrikanischen *Acraea*-Faltern als Ursache für fehlende genetische Distanz nachgewiesen (Hurst & Jiggins 2005, Jiggins 2003). Diese geht mit erhöhter Sterblichkeit der männlichen Nachkommen einher, die zu einer deutlich verschobenen ♂♂-♀♀-Relation führt. Bei *Callophrys* generell ist den Autoren keine auffällige Verschiebung der Geschlechtsrelation bekannt. Während für *naderii* mehr ♂♂ als ♀♀ vorliegen, kann über *Callophrys* sp. 4 wegen der wenigen gefangenen Tiere zur Zeit nichts ausgesagt werden. Diese Erklärung hätte aber in vorliegenden Fall den entscheidenden Vorteil, daß sie syntop und synchron fliegende, sich gegenseitig infizierende Arten voraussetzt. Die zusätzliche Untersuchung von nukleärer, nicht infizierbarer DNA könnte hier hilfreich sein. Dagegen spricht, daß die erhaltenen Gensequenzen sehr gut in das von anderer Seite untersuchte Sequenzmaterial passen und eine *Wolbachia*-Infektion so deutlich andere Sequenzen ergeben müßte, daß diese extrem aus dem Kladogramm herausfallen würden.

Letztendlich ist die gefundene Sequenzdivergenz von 0,5% nur als Haplotypenmosaik oder aber als Signal eines (für die beiden „Kerman"-Arten wegen morphologischer Kriterien unwahrscheinlichen) beginnenden Speziationsereignisses zu deuten. Weitere Untersuchungen sind für eine schlüssige Erklärung für die Situation in der „Kerman"-Gruppe notwendig.

5. „Foulad-Mahalleh"-Gruppe

Ein weiteres schwer verständliches Ergebnis der COI-Untersuchung: Es gibt keinerlei bekannte phänologische und genitalmorphologische oder biologische Unterschiede zwischen den Proben WtH040, WtH044 einerseits und WtH011, WtH043 und WtH045 der folgenden Artengruppe andererseits. Nach Entdeckung der an *C. rubi chalybeitincta* erinnernden Population von *Callophrys* sp. 6 im östlichen Elburs (Iran, Kuh-e Shavar und Shahkuh) exklusiv an Rosensträuchern ist der Erstautor gezielt an den ca. 120 km Luftlinie entfernten Fundort der *Callophrys* sp. 5 bei Foulad-Mahalleh gefahren in der Kenntnis, dort bei früheren Reisen auch einige Rosensträucher an einen Bachufer gesehen zu haben. Die Rosensträucher wurden wiedergefunden, auch der gesuchte *Callophrys* war da, erwies sich aber bezüglich des COI-Barcodes als bemerkenswert unterschiedlich, besonders angesichts der im gesamten Genus gefundenen geringen Distanzen. Die Networkanalyse (Grafik 2) illustriert gut die unterschiedliche Position von *Callophrys* sp. 5 und *Callophrys* sp. 6.

Eine mögliche Erklärung ist, daß Biotope mit Rosensträuchern auf der trockenen Südseite des östlichen Elburs sehr lokal sind. Dies war ja auch der Grund, warum der Erstautor gezielt ca. 250 km Straße zu den ihm bekannten wenigen Büschen gefahren ist. Trotzdem sind Wildrosen sicherlich im östlichen Elburs auch an anderen Stellen abseits der Wege lokal zu finden. Aus den vorliegenden Ergebnissen der mtDNA-Analyse folgt jedoch fehlender Genaustausch zwischen den sehr lokalisierten, meist auf wenige Rosensträucher beschränkten Populationen der als *Callophrys* sp. 5 und sp. 6 bezeichneten Falter. Die genetische Evolution scheint in diesem Fall schneller zu sein als die habituelle Evolution. Während für *Callophrys* sp. 5 als stabiles Endglied eines COI-Zweiges im Netzwerk (Grafik 2) in den vorliegenden Ergebnissen kein Genaustausch erkennbar ist, scheint jener für *Callophrys* sp. 6 eher mit *C. paulae* als mit *C. rubi* zu bestehen (siehe unten).

Der Fundort von *Callophrys* sp. 6 am Kuh-e Shavar liegt auf der trockenen Südseite des Elburs, jedoch nicht weit von der viel feuchteren hyrcanischen Seite des Elburs, während der Fundort Foulad-Mahalleh weiter landeinwärts liegt. Auf der feuchteren, bewaldeten Nordseite des Elburs sind Rosensträucher verwandter Arten flächendeckend verbreitet. Bisher wurden aber keine assoziierten *Callophrys* auf der Nordseite des Ostelburs gefunden.

6. *paulae*-Gruppe

Diese COI-Gruppe enthält zunächst den bereits erwähnten *Callophrys* sp. 6. Die Assoziierung mit weißblühenden, kleinblütigen Rosensträuchern geht so weit, daß die Falter von *Callophrys* sp. 6 nicht in einem einzigen Fall auf den blühenden Polstern von *O. cornuta* nur wenige Meter entfernt angetroffen wurden. Letztere werden von einer individuenstarken Population von *C. paulae* intensiv als Saugpflanze und auch Eiablagepflanze genutzt. Vermischung beider Falter wurde nicht beobachtet. Obwohl die Imagines von *Callophrys* sp. 6 ausschließlich auf den Rosensträuchern angetroffen wurden, ist die Eiablagepflanze nicht bekannt. Es ist geplant, *Callophrys* sp. 6 in einer weiteren Arbeit neu zu beschrieben. Wie oben erwähnt, ist *Callophrys* sp. 6 habituell *C. rubi chalybeitincta*, nicht jedoch *C. paulae* ähnlich. Denkbare Hypothese: *Callophrys* sp. 6 ist ein sehr lokalisiertes Relikt eines Vorgängers aus dem *rubi*-Komplex, dessen COI-Gen von der Masse der umgebenden Falter des *paulae*-Formenkreises dank nicht vollständig kompletter genetischer Linientrennung durch gelegentliche Hybridbildung beeinflußt wird, (bisher) jedoch ohne erkennbaren Einfluß auf die Morphologie und Biologie der Falter.

Die meisten anderen Proben dieser COI-Gruppe stammen von an *O. cornuta* lebenden Populationen von *C. paulae* und verwandten Taxa (vergleiche Karte). Die nominotypische Form von *C. paulae* (TL.: Maraş, Südtürkei), zu der 2008 gefundene größere Serien aus dem zentralanatolischen Gürün (WtH082, WtH083) und aus den südtürkischen Bolkar Dağlari gezählt werden, haben im Schnitt eine signifikant kleinere Flügelspannweite als die untersuchten Falter der ssp. *kolak* aus Ostanatolien (WtH012), Armenien (WtH066), NW-Iran (WtH014, WtH053). Außerdem ist bei der ssp. *paulae* die weiße Linie der Flügelunterseite nahezu immer vollständig reduziert. Bei der ssp. *kolak* ist meistens eine in weiße Flecke aufgelöste Binde zu sehen. Im zentralen Elbursgebirge/Nordiran ist die Binde vielfach vollständig, jedoch schmal ausgebildet, während sie bei den als eigene Art *jomuda* beschriebenen Faltern vom ostiranischen und turkmenischen Kopet Dagh immer vollständig, sehr kräftig und breiter ausgebildet ist (ten Hagen 2009). Andere phänologische, genitalmorphologische und ökologische Unterschiede wurden nicht gefunden. Im COI-Barcode wurden jedoch Unterschiede zu *C. paulae jomuda* (WtH013, WtH033) festgestellt. Insgesamt ist *C. paulae* von der Zentraltürkei bis zum Nordostiran weitgehend flächendeckend in der subalpinen Dornpolsterzone mit seiner Imaginal- und Raupenfutterpflanze *O. cornuta* in meist großer Populationsdichte verbreitet (Hesselbarth et al. 1995, ten Hagen 2009, Wagener & van Oorschot 1998). Scharfe Grenzen zwischen den Populationen gibt es nicht; in Nordiran kommen von der ssp. *kolak* im Westen bis zur ssp. *jomuda* im Osten alle Übergangsformen vor, wenngleich die Populationen aus der Südtürkei, von NW-Iran und NO-Iran jeweils gut zu unterscheiden sind. Daher gibt es nach Einschätzung der Autoren an einigen hundert Faltern von *C. paulae* keine Berechtigung für *jomuda* auf Artniveau. Im Gegensatz dazu zeigt die kürzlich beschriebene *C. farsica* bei gleicher Ökologie neben dem Unterschied im COI-Gen auch ein deutlich von allen *C. paulae* unterscheidbares Genital der ♀♀.

Die beiden Falter WtH064 und WtH065 vom Vulkan Aragats in Armenien bilden einen eigenen Seitenzweig

in dieser COI-Gruppe. Die Falter aus einer kleinen Serie (leg. Y. Shevnin, Ekaterinenburg) erinnern morphologisch an *C. chalybeitincta*, die Flügeloberseite ist jedoch eher braunschwarz als schwarz. Der Vergleich mit Abbildungen bei Zhdanko (*in* Tuzov et al. 2000) legt die Determination als *C. armeniaca* (TL: Aragats) nahe. Die Originalbeschreibung kann leider nur bedingt zur Klärung beitragen (Übersetzung: Vadim Tshikolovets, Kiew). Die Ökologie der Falter ist nicht mit Sicherheit bekannt. Y. Shevnin gibt an, die Falter an „Büschen" gefangen zu haben (Shevnin, in litt.), nicht an *O. cornuta*. Auch einer der Autoren (WtH) konnte wie V. Tshikolovets, Kiew (pers. Mitteilung) am Vulkan Aragats kein *O. cornuta* beobachten, dagegen jedoch nicht selten Rosensträucher. Die Falter sind von einer *Callophrys*-Population, die im armenischen Khosrov-Nationalpark an Rosen beobachtet werden konnte, habituell und genitalmorphologisch nicht zu unterscheiden. Wegen der Unterschiede im COI-Barcode und der geschilderten Unsicherheit über Determination und Ökologie wird hier dennoch auf eine formelle Synonymisierung von *C. armeniaca* mit *C. rubi chalybeitincta* oder *C. paulae* verzichtet. Die Beurteilung der zoogeographische Situation ist widersprüchlich: einerseits ist es unwahrscheinlich, daß neben *C. paulae* (an *O. cornuta*), *C. danchenkoi* (an Umbelliferen), *C. chalybeitincta* (assoziert mit Rosaceae und vielem anderen) ein weiterer Endemit aus dem Genus *Callophrys* in Armenien vorkommen soll; andererseits ist es nicht anzunehmen, daß sich *C. rubi chalybeitincta* vom Berg Aragats bezüglich des COI-Gens von den umgebenden Populationen (zum Beispiel WtH-029, WtH031) unterscheiden sollten.

Die Networkanalyse demonstriert, daß *C. rubi* trotz des riesigen, im wesentlichen eurosibirischen Verbreitungsareals genauso wie die umgebenden Seitenäste genetisch recht stabil ist; die Arten sind trotz nur 1–2 bp Differenz leichter bestimmbar als andere *Callophrys*. Anders sieht die Situation für *C. paulae* und das umgebende Netzwerk aus: von *C. paulae* ausgehend werden neue Taxa generiert (*jomuda*) beziehungsweise *C. paulae* scheint offensichtlich mit seinem Genmaterial „immer mal wieder" den Genpool anderer im irano-anatolischen Verbreitungsgebiet von *C. paulae* vorkommende Taxa (*C. farsica, Callophrys* sp. 6, *C. armeniaca*, *C. herculeana*?), die alle viel seltener und lokaler sind, zu beeinflussen.

7. Artengruppe (unbenannt)

Dies ist eine weitere schwer erklärbare COI-Artengruppe, die trotz fehlendem Unterschied im untersuchten Genabschnitt aus 2 keineswegs artgleichen Taxa besteht. Der Falter WtH027 aus Burdur (SW-Anatolien) entspricht der Determination *C. rubi herculeana*, die von Pfeifer (1927) aus Eğridir — nicht weit von Burdur — beschrieben wurde. Leider erwies sich alles verfügbare weitere Material des Taxons als zu alt für eine DNA-Analyse, so daß das Ergebnis nicht überprüft werden konnte. Die genetische Distanz des untersuchten *C. herculeana* von 0,75 % zu *C. rubi*, die sonst im riesigen Verbreitungsgebiet (siehe oben) einschließlich der Zentraltürkei und Israel im COI-Gen nicht variiert, ist bemerkenswert. Falter von *C. herculeana* sind deutlich größer als *C. rubi* und haben eine braune Flügeloberseite, statt schwarzbraun wie bei vielen anderen anatolischen *C. rubi*, mit der sie von Hesselbarth et al. (1995) synonymisiert wurden. In der zitierten Arbeit wird konstatiert, daß Individuen von *C. rubi*, die der Beschreibung der *C. herculeana* entsprechen, in vielen Populationen vorkommen. Dies können die Autoren nicht bestätigen: in allen konsultierten Sammlungen wurde *C. herculeana* nur aus dem Taurusgebirge der Südtürkei (Antalya, Burdur, Eğridir [Egirdir], İçel, Malatya) gesehen. Sehr ähnliche Tiere gibt es in SE-Anatolien, südlich vom Vansee. Auf der Taurus-Nordseite zum Beispiel auf der Bolkar-Dağlari-Nordseite (WtH070) wurden normale *C. rubi* gefunden. Als Raupenfutterpflanze wurde von Uebel (in Hesselbarth et al 1995) und W. Köstler (persönliche Mitteilung) *Colutea* festgestellt, in deren Samenschoten die Raupen leben. Schurian (pers. Mitt.) sammelte seine Serie von *herculeana*-ähnlichen Faltern in SE-Anatolien ebenfalls an *Colutea*. Das Ergebnis der COI-Analyse, Freilandbeobachtugen, Biogeographie, Phänologie sprechen dafür, *C. herculeana* nicht als Synonym zu *C. rubi* zu sehen. Wir neigen zur Ansicht, das Taxon in den Artrang zu erheben (**stat. n.**). Ob *C. herculeana* vom SW-anatolischen Taurus artgleich mit den ähnlichen Faltern von Vanseegebiet sind, kann hier nicht entschieden werden.

Die beiden anderen Falter, bezeichnet als *Callophrys* sp. 8 (WtH059 und WtH069), stammen aus dem Tienshan-Gebirge westlich von Almaty. Sie sind oberseits etwas heller braun als geographisch benachbarte *C. rubi sibirica*, unterscheiden sich ansonsten phänologisch aber nicht entscheidend von *C. rubi*. Gezielt nachträglich zur Überprüfung in die Untersuchung einbezogene habituelle *C. rubi* aus dem gleichen Teil des Tienshan (WtH076–078) erwiesen sich dagegen im Barcode genauso als *C. rubi* wie die untersuchten Exemplare aus dem südsibirischen Sayan-Gebirge (WtH002) und dem Altai (WtH080-081) und somit identisch mit allen anderen *C. rubi*. Ökologische Informationen der untersuchten Population liegen nicht vor. Es wird weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, wie die beiden *Callophrys* sp. 8 zu bewerten sind.

Fazit

Die vorliegende Untersuchung des Genus *Callophrys* durch Vergleiche eines Sequenzabschnitts des COI-Gens konnte nicht alle taxonomischen Probleme zufriedenstellend lösen, gewährt jedoch zusätzliche Information. Auf Genusebene halten wir es bis zum Vorliegen weiterer Ergebnisse für sinnvoll, alle nearktischen und paläarktischen Arten der Genera *Ahlbergia, Incisalia, Cissatsuma* (vermutlich auch *Mitoura;* hier nicht untersucht) unter dem ältesten verfügbaren Genusnamen *Callophrys* zusammenzufassen, da die Einzelgenera nach unseren

Erkenntnissen überwiegend nicht monophyletisch sind. Unter Berücksichtigung aller bekannten Merkmale schlagen wir auf Artebene die folgende taxonomische Gliederung für die paläarktischen *Callophrys* mit brauner Flügeloberseite und grüner Flügelunterseite vor (bei der Numerierung der unbeschriebenen Taxa wird auf die Tabelle 1 Bezug genommen):

Genus *Callophrys* Billberg, 1820 (sensu stricto)

1. *Callophrys rubi* (Linnaeus, 1758)
   - a. *Callophrys rubi rubi* (Linnaeus, 1758)
   - = *borealis* Möschler, 1891
   - b. *Callophrys rubi fervida* Staudinger, 1901
   - c. *Callophrys rubi sibirica* Heyne, [1895]
   - d. *Callophrys rubi chalybeitincta* Sovinsky, 1905
   - = *nigra* Stradomsky, 2005 **syn. n.**
   - = *eitschbergeri* Dantchenko, 2000
   - e. *Callophrys rubi schamyl* Sheldon, 1914
   - f. *Callophrys rubi* ssp.? [Kopet Dagh]
2. *Callophrys armeniaca* Zhdanko, 1998 (status incertus)
3. Callophrys sp. 5
   [unbeschrieben, Semnan, Foulad-Mahalleh, Rosaceae]
4. *Callophrys* sp. 6
   [unbeschrieben, Shahkuh, Kuh-e Shavar, Rosaceae]
5. *Callophrys herculeana* Pfeiffer, 1927 **stat. n.**
6. *Callophrys naderii* ten Hagen, 2008
7. *Callophrys suaveola* Staudinger, 1881
   - = *titanus* Zhdanko, 1998
8. *Callophrys danchenkoi* Zhdanko, 1998
9. *Callophrys butlerovi* Migranov, 1992
10. *Callophrys* sp. 4
    [unbeschrieben, Kerman, Umbellifere]
11. *Callophrys paulae* Pfeiffer, 1932
    - a. *Callophrys paulae paulae* Pfeiffer, 1932
    - b. *Callophrys paulae kolak* Higgins, 1965
    - c. *Callophrys paulae jomuda* Nekrutenko & Tshikolovets, 1997
    - = *hatuma* Zhdanko, „1996“ [recte post-1997: 1999?]
12. *Callophrys farsica* ten Hagen, 2009
13. *Callophrys mystaphia* Miller, 1913
14. *Callophrys avis* Chapman, 1909
    - a. *Callophrys avis avis* Chapman, 1909
    - b. *Callophrys avis barraguei* Dujardin, 1972

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wäre ohne die Hilfe einer großen Zahl von Kollegen nicht möglich gewesen: Die Autoren danken Frau Helen Alipanah (Kuratorin der Lepidopterensammlung des Plant Pests and Diseases Research Institute, Tehran), Dr. A. V. Sviridov (ZSSM, Moskau), Dr. A. Devyatkin und K. Tomkowitsch, Moskau, Dr. Robert Trusch (Staatliches Museum für Naturkunde, Karlsruhe), Dr. Axel Hausmann (Zoologische Staatssammlung München), Dr. Wolfram Mey (Museum für Naturkunde der Humboldt-Universität, Berlin), Harry van Oorschot (Zoölogisch Museum, Amsterdam), Philipp R. Ackery und Mrs. Kim Goodger (The Natural History Museum, London); weiter Dr. Georges Betti (Mougins), Christian Castellaine (Frankreich), Dr. Sergej Churkin (Moskau), Hans Coene (Amstelveen), Dr. Wolfgang Eckweiler (Frankfurt), F. Gil-T. (Granada), Tamas Hacs (Budapest), Axel Hofmann (Breisach), Peter Hofmann (Limeshain), Dr. T. Knebelsberger (Moosburg), Dr. H.-G. Mark (Königstein), Dr. Jörg U. Meineke (Kippenheim), Bernard Mollet (Gometz-le-Chatel), Alireza Naderi (Karaj), Vazrick Nazari (Guelph), Prof. Dr. Klaus Rose (Mainz), Andree Salk (Berlin), Dr. Klaus G. Schurian (Kelkheim), Yuryi Shevnin (Ekaterinenburg), Boris Stradomsky (Rostov am Don), Michel Tarrier (Malaga), Valentin Tikhonov (Pyatigorsk), Dr. Vadim Tshikolovets (Kiev) und Jean-Claude Weiss (Metz) für vielfältige Hilfe durch Einsicht in ihre Sammlungen, Überlassung von Vergleichsmaterial, Hinweise auf und Beschaffung und Übersetzung von Literatur, Begleitung auf Exkursionen und sowie eine Vielzahl sehr fruchtbarer und aufschlußreicher Diskussionen.

Literatur

Back, W., Knebelsberger, T., & Miller, M. A. (2006a): Molecular investigation of the species and subspecies of the genus *Anthocharis* Boisduval, Rambur, Dumeril & Graslin, 1833 with special focus on the *cardamines*-group (Lepidoptera: Pieridae). — Linneana Belgica, Beersel, **20** (6): 245–253.

——, ——, & —— (2006b): The phylogenetic relationships of the species and subspecies of the subgenus *Elphinstonia* Klots, 1930 (Lepidoptera: Pieridae). — Atalanta, Marktleuthen **37** (3/4): 469–482.

——, ——, & —— (2008): Molekularbiologische Untersuchungen und Systematik der paläarktischen Arten von *Euchloe* Hübner, [1819] (Lepidoptera: Pieridae). — Entomologische Zeitschrift, Stuttgart, **118** (4): 151–169.

Bandelt, H.-J., Forster, P., & Röhl, A., (1999): Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. — Molecular Biology and Evolution, Oxford, **16:** 37–48.

Benyamini, D. (1990): A field guide to the butterflies of Israel. — Jerusalem (Keter Publishing House), 234 S.

—— (1993): The butterflies of Mt Hermon (Lepidoptera: Rhopalocera and Hesperiidae). — Linneana belgica, Beersel, **14** (4): 167–204.

Brower, A. V. Z. (1994): Rapid morpholigical radiation and convergence among races of the butterfly *Helioconius erato* inferred from patterns of mitochondrial DNA evolution. — Proceedings of the National Academy of Science, Washington, **91:** 6491–6495.

—— (2006): Problems with DNA barcodes for species delimination: Ten species of *Astraptes fulgerator* reassessed (Lepidoptera: Hesperiidae). — Systematics and Biodiversity, London, **4:** 127–132.

D'Abrera, B. (1993): Butterflies of the Holarctic Region. Part III Nymphalidae (concl.), Libytheidae, Riodinidae & Lycaenidae. — Victoria, Australia (Hill House), 524 S.

Ebert, G. (Hrsg.) (1991): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs, Band **2:** Tagfalter II. — Stuttgart (Ulmer), 535 S.

Eckweiler, W. (1981): Beiträge zur Kenntnis der Rhapaloceren Irans. 16. Beitrag: Lepidopteren aus Kerman. — Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo, Frankfurt am Main, N.F. **2** (1): 43–54.

——, & Hofmann, P. (1980): Verzeichnis iranischer Tagfalter — Checklist of Iranian butterflies. — Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo, Frankfurt am Main, **Supplementum 1:** 1–28.

Eliasson, C. U., Ryrholm, N., Holmer, M., Jilg, K., & Gärdenfors, U. (2005): Nationalnyckeln till Sveriges flora och fauna. Fjärilar: Dagfjärilar. Hesperiidae–Nymphalidae. — Uppsala (ArtDatenbanken), 407 S.

Fernandez-Rubio, F. (1991): Guia de mariposas diurnas de la Peninsula Iberica, Baleares, Canarias, Azores y Madeira. — Madrid (Ediciones Pyramide), 406 S.

Fiedler, K. (1990): Bemerkungen zur Larvalbiologie von *Callophrys rubi* L. (Lepidoptera: Lycaenidae). — Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo, Frankfurt am Main, N.F. **11** (3): 121–141.

Funk, D. J., & Omland, K. E. (2003): Species-level paraphyly and polyphyly: frequency, causes and consequences with insights from animal mitochondrial DNA. — Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics, Palo Alto, **34:** 397–423.

Garth, J. S., & Tildon, J. W. (1986): California butterflies. — Berkeley (University of California Pr.), 246 S., 24 Farbtaf.

Gorbunov, P. (2001): The butterflies of Russia: classification, genitalia, keys for identification (Lepidoptera: Hesperioidea and Papilionoidea). — Thesis Universität Ekaterinburg, 320 S.

——, & Kosterin, O. (2003): The butterflies (Hesperioidea and Papilionoidea) of North Asia (Asian part of Russia) in nature. — Moscow (Rodina & Fodio), Chelyabinsk (Gallery Fund), 392 S.

Habel, J. C., Meyer, M., El Mousadik, A., & Schmitt, T. (2007): Africa goes Europe: The complete phylogeography of the marbled white butterfly species complex *Melanargia galathea/M. lachesis* (Lepidoptera: Satyridae). — Organisms, Diversity & Evolution, München, **8:** 121–129.

Hajibabaei, M., Smith, M. A., Janzen, D. H., Rodriguez, J. J., Whitefield, J. D., & Hebert, P. D. N. (2006): A minimalist barcode can identify a specimen whose DNA is degraded. — Molecular Ecological Notes **6** (4): 959–964.

Hebert, P. D. N., Cywinska, A., Ball, S. L., & de Waard, J. R. (2003): Biological identifications through DNA barcodes. — Proceedings of the Royal Society London, Ser. B, **270:** 313–321.

Henriksen, H. J., & Kreutzer, I. (1982): The butterflies of Scandinavia in nature. — Odense (Scandinavisk Bokvorlag), 215 S.

Hesselbarth, G., van Oorschot, H., & Wagener, S. (1995): Die Tagfalter der Türkei unter Berücksichtigung der angrenzenden Länder. — Bocholt (Selbstverlag S. Wagener), 3 Bände: 1357 + 847 Seiten, 470 Farbtaf., 13 SW-Taf., 342 Verbreitungskarten.

Hicherson, M. J., Meyer, C. P., & Moritz, C. (2006): DNA barcoding will often fail to discover new animal species over broad parameter space. — Systematic Biology, Oxford, **55** (5): 729–739.

Higgins, L. G., & Riley, N. D. (1970): A field guide to the butterflies of Britain and Europe. — London (Collins), 381 S.

Hileman, L. C., Vasey, M. C., & Parker, V. T. (2001): Phylogeny and biogeography of the Arbutoideae (Ericaceae): Implications for the Madrean–Tethyan hypothesis. — Systematic Botany, London, **26** (1): 131–143.

Hurst, G. D. D., & Jiggins, F. M. (2005): Problems with mitochondrial DNA as a marker in population, phylogeographic phylogenetic studies: the effects of inherited symbionts. — Proceedings of the Royal Society of London, Ser. B, **272:** 1525–1534.

Jiggins, F. M. (2003): Male-killing *Wolbachia* and mitochondrial DNA: Selective sweeps, hybrid introgression and parasite population dynamics. — Genetics, Bethesda, **164:** 5–12.

Johnson, K. (1992): The palaearctic „Elfin" butterflies (Lycaenidae, Theclinae). — Neue Entomologische Nachrichten, Marktleuthen, **29:** 1–141.

Koçak, A. Ö. (1996): Belucistan'in (Pakistan) Papilionoidea ve Hesperioidea faunasi üzerine araştirmalar (Lepidoptera). — Priamus, Ankara, **7** (4): 121–156.

Kodandaramaiah, U., & Wahlberg, N. (2009): Phylogeny and biogeography of *Coenonympha* butterflies (Nymphalidae: Satyrinae) — patterns of colonization in the Holarctic. — Systematic Entomology, London, **34:** 315–323.

Larsen, T. B. (1974): The butterflies of Lebanon. — Beirut, Lebanon (National Council for Scientific Research), 255 S.

Lukhtanov, V., & Lukhtanov, A. (1994): Die Tagfalter Nordwestasiens (Lepidoptera, Diurna). — Herbipoliana, Buchreihe zur Lepidopterologie, Marktleuthen, **3:** 440 S., 56 Farbtaf.

——, & Shapoval, N. A. (2008): Detection of cryptic species in sympatry using population analysis of unlinked genetic markers. — Doklady Biological Sciences, Moskau, **423:** 432–436.

——, Sourakov, A., Zakharov, E. V., & Hebert, P. D. N. (2009): DNA barcoding Central Asian butterflies: increasing geographical dimension does not significantly reduce the success of species identification. — Molecular Ecology Resources, London, **9:** 1302–1310.

Manley, W. B. L., & Allcard, H. G. (1970): A field guide to the butterflies and burnets of Spain. — Manchester (William Morris Pr.), 192 S, 40 Farbtaf.

Maravalyas, E. (Hrsg.) (2003): As borboletas de Portugal — The butterflies of Portugal. — Stenstrup (Apollo Books), 455 S.

Meier, R. (2008): DNA sequences in taxonomy: Empirical performance, opportunities, and pitfalls. — Abstracts and lectures vom EDIT-Workshop „Future trends in taxonomy", 21.–23. i. 2008, Carvoeiro, Portugal.

Miller, E. E. (1913): Neue Rhopalocera aus Transkaukasien. — Deutsche Entomologische Zeitschrift Iris, Dresden, **26** (4): 220–223.

Nazari, V. (2003): Butterflies of Iran. — Tehran (Dayereh-Sabz, National Museum of Natural History of the Islamic Republic of Iran), 568 S.

Nekrutenko, Y., & Tshikolovets, V. (1997): A new species of the genus *Callophrys* (Lepidoptera, Lycaenidae) from Turkmenistan. — Journal of the Ukrainian Entomological Society, Kiew, **3** (2): 3–4 [in Ukrainisch].

Niehuis, O., Hofmann, A., Naumann, C. M., & Misof, B. (2007): Evolutionary history of the burnet moth genus *Zygaena* Fabricius, 1775 (Lepidoptera: Zygaenidae) inferred from nuclear and mitochondrial sequence data: phylogeny, host-plant association, wing pattern evolution and historical biogeography. — Biological Journal of the Linnean Society, London, **92:** 501–520.

Pons, J., Barraclough, T. G., Gomez-Zurita, J., Cardoso, A., Duran, D. P., Hazell, S., Sumlin, W. D., & Vogler, A. (2006): Sequence-based species delimination for the DNA taxonomy of undescribed insects. — Systematic Biology, Oxford, **55** (4): 595–609.

Pyle, R. M. (1995): National Audubon Society: Field guide to North American butterflies, 10. Aufl. — New York (Alfred A. Knopf), 923 S., 273 Farbtaf.

Roberts, T. J. (2001): The butterflies of Pakistan. — Karachi (Oxford Univ. Pr.), 200 S., 66 Farbtafeln.

SBN [Schweizerischer Bund für Naturschutz] (1987): Tagfalter und ihre Lebensräume. Arten, Gefährdung, Schutz. — Egg (K. Holliger Fotorotar), 516 S.

Schmidt, B. C., & Sperling, F. (2008): Widespread decoupling of mtDNA variation and species integrity in *Grammia* tiger moths (Lepidoptera: Noctuidae). — Systematic Entomology, Oxford, **33:** 613–634.

Scott, J. A. (1986): The butterflies of North America — A natural history and field guide. — California (Stanford Univ. Pr.), 583 S., 64 Farbtaf.

Sperling, F. (2003): Chapter 20: Butterfly molecular systematics: From species definitions to higher-level phylogenies. — S. 431–458 *in:* Boggs, C. L., Watt, W. B., & Ehrlich, P. R. (Hrsg.), Butterflies: ecology and evolution taking flight. — Chicago (University of Chicago Press), 736 S.

Stöck, M., Sicilia, A., Belfiore, A. M., Buckley, D., Lo Brutto, S., Lo Valvo, M., & Arculeo, M. (2008): Post-Messinian evolutionary relationships across the Sicilian channel: Mitochondrial and nuclear markers link a new green toad from Sicily to African relatives. — BioMedCentral Evolutionary Biology **8:** 56, doi:10.1186/1471-2148-8-56, www.biomedcentral.com/1471-2148/8/56.

Stradomsky, B. V. (2005): A new subspecies of *Callophrys chalybeitincta* Sovinsky, 1905 (Lepidoptera: Lycaenidae) from the lower Don river. — Caucasian Entomological Bulletin, Rostov am Don, **1** (1): 85–86.

Sturmbauer, C., & Meyer, A. (1992): Genetic divergence, speciation and morphological stasis in a lineage of African cichlid fishes. — Nature, Basingstoke, **358:** 578–581.

Swofford, D. L. (2003): Paup*: Phylogenetic analysis using parsimony (*and other methods). Version 4. — Sunderland (Sinauer Ass.).

Tarrier, M. R., & Delacre, J. (2008): Les Papillons de jour du Maroc. — Paris (Publication Scientifiques du Museum), 480 S.

ten Hagen, W. (2006): Beitrag zur Kenntnis von *Callophrys mystaphia* Miller, 1913 (Lepidoptera: Lycaenidae). — Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo, Frankfurt am Main, N.F. **27** (3): 131–137.

—— (2008): Beitrag zur Kenntnis des Genus *Callophrys* Billberg, 1820: eine neue Art aus Südiran (Lepidoptera: Lycaenidae). — Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo, Frankfurt am Main, N.F. **29** (1/2): 9–14 und **29** (4): 181 [Corrigenda].

—— (2009): Mit *Onobrychis cornuta* (Fabaceae) assozierte *Callophrys*-Arten: *Callophrys paulae* Pfeiffer, 1932 und *C. farsica* sp. n. (Lepidoptera: Lycaenidae). — Nachrichten des Entomologischen Vereins Apollo, Frankfurt am Main, N.F. **30** (3): 131–142.

Tennent, J. (1996): The butterflies of Morocco, Algeria and Tunisia. — Wallingford (Gem Publishing Company), 252 S., 52 Farbtaf.

Tolman, T., & Lewington, R. (1997): Butterflies of Britain and Europe: Collins Field Guide. — London (Harper Collins), 320 S., 104 Farbtaf.

Toropov, S. A., & Zhdanko, A. B. (2009): The butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) of Dzunghar, Tien Shan, Alai and eastern Pamirs. Bd. **2:** Danaidae, Nymphalidae, Libytheidae, Riodinidae, Lycaenidae. — Bishkek (Selbstverlag), 377 S. + 13 S. Addendum.

Tshikolovets, V. V. (1997): The butterflies of Pamir. — Bratislava (Slamka), 282 S., 46 Taf.

—— (1998): The butterflies of Turkmenistan. — Kiev, Brno (Konvoj), 237 S., 34 Taf.

—— (2000): The butterflies of Uzbekistan. — Kiev, Brno (Konvoj), 400 S., 49 Taf.

—— (2003a): The butterflies of Tajikistan. — Kiev, Brno (Konvoj), 500 S., 77 Farbtaf.

—— (2003b): Butterflies of eastern Europe, Urals and Caucasus. An illustrated guide. — Kiev, Brno (Konvoj), 175 S., 47 Farbtaf.

—— (2005): The butterflies of Kyrgyzstan. — Kiew, Brno (Konvoj), 511 S., 108 Farbtaf.

Tuzov, V. K., & Gorbunov, O. G. (Hrsg.) (1997): Guide to the butterflies of Russia and adjacent territories (Lepidoptera, Rhopalocera), Bd. **1.** — Sofia, Moskau (Pensoft), 480 S.

—, —, & Dantchenko, A. V. (Hrsg.) (2000): Guide to the butterflies of Russia and adjacent territories (Lepidoptera, Rhopalocera), Bd. **2.** — Sofia, Moskau (Pensoft), 580 S.

Vodolazhsky, D. I., & Stradomsky, B. (2008): Phylogenetic analysis of subgenus *Polyommatus* (s. str.) Latreile, 1804 (Lepidoptera: Lycaenidae) based on mtDNA markers. Part II. — Caucasian Entomological Bulletin, Rostov am Don, **4** (2): 237–242 [in Russisch].

Wagener, S., & van Oorschot, H. (1998): Rhopalocera and Grypocera of Turkey 15. Zur Identität von *Callophrys mystaphia* (Lepidoptera: Lycaenidae). — Phegea, Antwerpen, **26** (2): 61–67.

Weidemann, H.-J. (1988): Tagfalter — Biologie, Ökologie, Naturschutz. Bd. **2.** — Melsungen (Neumann-Neudamm), 372 S.

Weingartner, E., Wahlberg, N., & Nylind, S. (2006): Speciation in *Pararge* (Satyrinae: Nymphalidae) butterflies — North Africa is the source of ancestral populations of all *Pararge* species. — Systematic Entomology, Oxford, **31:** 621–632.

Wiemers, M., & Fiedler, K. (2007): Does the DNA barcoding gap exist? — A case study in blue butterflies (Lepidoptera: Lycaenidae). — Frontiers in Zoology, London, **4** (8) (16 Seiten), doi:10.1186/1742-9994-4-8, www.frontiersinzoology.com/content/4/1/8.

Will, K. W., Mishler, B. D., & Wheeler, Q. D. (2005): The perils of DNA barcoding and the need for integrative taxonomy. — Systematic Biology, Oxford, **54** (5): 844–851.

——, & Rubinoff, D. (2004): Myth of the molecule: DNA barcodes for species cannot replace morphology for identification and classification. — Cladistics, New York, **20:** 47–55.

Zhdanko, A. („1996“ [recte post-1997: 1999?]): A new blue butterfly species of the genus *Callophrys* (Lepidoptera, Lycaenidae) from the Kopet Dagh. — Selevinia, Almaty, **1996/1997:** 21–22 [in Russisch].

—— (1998): New blue butterfly species from the genera *Callophrys* Billb. and *Polyommatus* Latr. (Lepidoptera, Lycaenidae) from Asia and the Caucasus. — Vestnik Kazakh. State University, series biologica, Almaty, **5:** 46–52 [in Russisch].

Internetzitate

Kemal, M. (2009): Biodiversity in Erek Mountain and it's rarest butterfly *Callophrys mystaphia* (19. April 2009). — www.archive.org / details / BiodiversityInErekMountainAndIts-RarestButterflyCallophrysMystaphiaeg (letzter Besuch der Site: 27. xi. 2009).

Eingang: 3. vi. 2009

 ISSN 0723-9912